相田 洋

日本放送出版協会

NHK 電子立国日本の自叙伝

相田 洋

日本放送
出版協会

半導体王国・日本は、いかにして生まれ
築きあげられたのだろうか。
本書は、半導体文明の発達を担った人たち——
いわば「石に憑かれた男たち」を日米に追って
半導体産業の歴史的全貌を描いた
迫真のドキュメンタリーである。

日本放送出版協会

NHK
電子立国 日本の自叙伝[中]

目次

第1章■ゲルマニウムの限界 7

第2章■半導体史上の二大発見 55

第3章■テレビが時代の幕を切った 95

シリコンバレーの一粒の種　155

第5章■シリコンの申し子たち　221

第4章■

第6章■宇宙開発競争と集積回路

第1章 ゲルマニウムの限界

「ソニー効果」の波及

トランジスタが登場した初期は、高い価格と低い信頼性から、真空管に向かない分野に限られて使われた。その最大の顧客がアメリカの国防総省で、軍事用電子機器を小型にするために金に糸目をつけず大量のトランジスタを発注した。レイセオン、ゼネラル・エレクトリック（GE）、ウエスタン・エレクトリック（WE）社、RCAなど既存の大会社が軍用トランジスタを受注し、初期のアメリカ半導体業界をリードした。一九五二年一〇月には五〇〇万ドル以上の製造契約がレイセオン、GE、シルバニア、RCAの四社との間で結ばれ、ダイオードやゲルマニウムトランジスタなどが、毎週五〇〇〇個以上のペースで製造され納入された。これらの軍需生産を通してゲルマニウムトランジスタの技術開発が進み、品質が向上したのである。

間もなく民生品でも補聴器メーカーがゲルマニウムトランジスタを使って成功し、やがてテキサス・インスツルメンツ（TI）社と日本の東京通信工業（昭和三三年にソニーと社名変更）がポケットラジオに使って爆発的な成功を収め、トランジスタ時代の幕が開くのである。

昭和三〇年七月、東京通信工業は東京国際観光会館で日本最初のトランジスタラジオを発表し、八月から発売を開始した。真空管式のポータブルラジオに比べて音質が悪く、専門家の間では不評であったが、電池を食わないトランジスタラジオは若者たちの間に爆発的な人気を呼んで、翌三一年の夏にはブームが起きた。その年、東京通信工業はトランジスタの月産三〇万個体制に入り、翌三二年一一月には新工場を建設し、月産八〇万個体制を完了。トランジスタ製造では先頭をひた走った。「ソニ

ー」という商標をつけたトランジスタラジオ発売は、民需主導型で成長する日本半導体産業の最初の起爆剤であった。これを「ソニー効果」と呼んだ。

東京通信工業の成功を、他の企業が指をくわえて座視するはずがなかった。各社は一斉にトランジスタ産業への本格的参入を開始、研究室レベルの試作から本格的な量産体制に入っていく。昭和三三年までには神戸工業、東芝、日立、日本電気、富士通信機などがWE社からトランジスタの基本特許を買い、RCAやGEから合金型トランジスタの製法特許を買い、ノウハウ契約を結ぶのである。松下電器はオランダのフィリップスから製造技術を導入した。翌昭和三四年になると、三菱電機、日本無線、沖電気、三洋電機が参入し、最終的には一一社が次々とトランジスタ・レースに加わったのである。

東京通信工業が他を圧して市場を席巻できたのは、成長型トランジスタを独自技術で改良し、高周波特性のよいトランジスタを非常に高い歩留まりで生産できたからである。成長型トランジスタは、生みの親であるベル研究所ですら、高周波特性が劣悪であった。しかも、WE社は特許しか売らず、製造ノウハウは譲渡しない会社であったから、製造技術は自分で開発することになった。途中では会社倒産の危機に瀕するほどの失敗を何度も経験しながら、やがてP型層に添加する伝導物質（不純物）をアンチモンからリンに替え、しかも比較的高濃度で添加するという冒険的な方法を考案し、当時としては想像を絶する性能が実現できた。この成功で高周波特性が二桁向上し、生産歩留まりは九〇パーセントを超え、しかも高額な製法特許料を払う必要がなくなり、結果として莫大な利益が東京通信工業に転がり込んだ。製造法は技術が陳腐化するまで厳重に秘匿され、他社が悲惨な歩留まりで苦しむのを横目に、莫大な

利益を手にできたのである。

ソニーの前身である東京通信工業が、性能劣悪、製造ノウハウなしという条件を承知で成長型に手を染めざるをえなかったのは、まだ零細な企業で莫大な金を投じてまでノウハウ契約を結べなかったからだと言う人もいる。確かに東京通信工業を除けば、ほとんどの企業が合金型の製造特許を買い、ノウハウ契約を結んでいた。ところが、合金型の製造法は、一個一個がほとんど手づくりに近かった。

その製造法はこうである。カーボンの板に、直径数ミリ程度のくぼみが無数にうがたれている。そのくぼみ一個一個に、ピンセットで直径〇・五ミリほどのインジウムを一個ずつ入れたあと、上から五ミリ角ほどのゲルマニウムの小片を載せ、カーボンのふたをし、ふたの穴から再びインジウムの粒を落としてやる。すると、構造は下からインジウム(P型)、ゲルマニウム(この場合、N型物質を添加してある)、インジウム(P型)がサンドイッチ状に重なり合っている。この状態でそっと高熱炉の中に入れてやると、ゲルマニウムの両面にインジウム合金ができ、ゲルマニウムの中にPNPの三層が形成されることになる。

ところが、インジウム合金がゲルマニウムの中に食い込みすぎて中間のN型層がなくなったり、反対に食い込みが足りなくてN型層の幅が広くなりすぎたり、同じ治具に載せ、同じ炉でつくった何十というトランジスタの特性が、厳密に言えば全部違うと言ってもよいほどバラツキがあったのである。しかも、中間層の幅をなかなか狭くできないから、高周波特性が悪くてラジオや電話通信には使えなかった。そこで、さまざまな合金型の改良技術が考案され、登場する。

その原理は、三つの領域の中間層を通過する電気の運び屋(電気を帯びた粒子で、電子や正孔のこと)のスピードを上げてやることである。そのための方法が二つあった。中間層の幅を狭くする方法が一

つ。ところが、合金型トランジスタでは中間層を一〇ミクロン以下に薄くつくることが困難であった。そこで、米国のフィルコ社は、フッ酸のような薬品をジェットノズルでゲルマニウムのペレットに高圧噴射させる方法を採用した。ゲルマニウム結晶の表と裏からジェットノズルで薬品を吹きかけ、合金をつくる場所をあらかじめ数ミクロンまで削っておいてから、両側にインジウム合金をつくったのである。中間層を物理的に薄くするという苦肉の策であった。これをマイクロ・アロイ型と呼んだ。

もう一つの方法は、中間層に添加するN型伝導物質の分布状態を均一にしないで、濃淡をつけてやることだった。こうすることで、電気の運び屋が中間層を通過するとき、スピードが出口に近づくほど加速され、結果として電気の運び屋が高速で中間層を通過できた。製造工程上は、ゲルマニウムのペレットをN型にしておくという事前処理を、少し変えるだけで済んだ。従来はゲルマニウムをN型にするためには、単結晶引き上げのときにN型伝導物質を混入添加させたが、改良型ではゲルマニウム単結晶をペレットにスライスしたあと、その表面から伝導物質を拡散浸透させた。そうすることで伝導物質の分布濃度を、表面では濃く、中に行くにつれて薄くなるように傾斜させることができたのである。これは一九五四年にH・クレーマーによって考案されたが、ドリフトトランジスタと呼ばれ、高周波特性が数十メガヘルツにまで向上した。

この技術の登場によって、合金型トランジスタがラジオをはじめ無線通信の分野で大量に使われるようになった。日本でもこの技術を導入することで、各社は東京通信工業の独走を追撃できる手段を手にすることになった。しかし、トランジスタの高周波特性は向上したものの、生産歩留まりは別問題であった。

土光社長も血相を変えた

東芝は昭和二七年にＲＣＡと技術導入契約を締結し、トランジスタの研究と生産に入った。東京深川の砂町工場にトランジスタ工業化研究グループをつくり、犬塚英夫氏（最近旭ダイヤモンド工業取締役研究所長を退職、八一歳）が中心となって合金型トランジスタの工業化について研究を進めたが、社内の雰囲気は「東芝には真空管があるさ」とトランジスタの工業化には冷淡であった。しかし、昭和二九年にはＷＥ社と特許契約を結び、昭和三一年暮にはトランジスタの量産に着手した。

当時、東京堀川工場で真空管を製造していた課長心得の西島輝行さん（元東芝副社長）は、昭和三二年一一月下旬、川崎のトランジスタ製造工場に転属を命じられた。上司に呼ばれて、いきなり「ドリフト型をやってくれ」と言われた。ドリフトとは何のことかと聞いたら、上司は「トランジスタの一種だ」と言うだけで、まったく知らない様子だったという。西島さんは着任してみて腰を抜かした。真空管時代には普通でも生産歩留まりが九五パーセント以上だったのに、トランジスタのラインでは想像できないほど悲惨な歩留まりに苦しんでいたのである。

西島　私は長い間真空管をやっておりましてね、その生産歩留まりがだいたい九五パーセントでした。それがドリフトトランジスタの初期は、よくて二パーセントでした。

――二パーセント？

西島　二パーセントです。だから、一〇〇個流して二個良品が取れれば、おんの字だということですよ。本当に情けない思いをしたものです。

――最悪のときはどれくらいになりましたか。

西島　最悪はねえ。その次の年の三、四月頃でしたかねえ。当時は真空管から逐次人員を投入してトランジスタ部門を拡充していたのですが、五〇人ほどの女の子を投じてできたトランジスタが数字にならない。部長に報告したのが「昨日はコンマ三パーセントでございました」

――コンマ三パーセント？

西島　一〇〇〇個で三個、本当の千三つというやつですね。

――九九七個が不良ですか。

西島　不良ですよ。ところが部長に報告しながら、内心ではね、ああ、明日はゼロパーセントの報告をせにゃならんなあいうデータ持ってたんですよ。それで、次の日はゼロパーセントでしたと。まあ、それより悪い歩留まりはありませんでしたがね。

――歩留まりゼロパーセントというのは、要するに一個もできないことですね。

西島　一個もできない。まあ、悲しいのを通り過ぎて、おもしろいもんですなあ、あれは、アハハハ。

西島輝行氏

やがて、トランジスタ製造が東芝の主要部門に昇格していく。真空管をやっていた課がそっくりトランジスタに移った。全員まったく経験のない元真空管担当者たちが総がかりでトランジスタ製造に取り組んだ。真空管とはまったく異なる製造現場に翻弄されて、生産歩留まりは劣悪を極めた。東芝は苦闘の末に昭和三三年、ドリフ

トトランジスタを使った短波も聞ける二バンドラジオに成功し、トランジスタ戦線に参入するのだが、生産歩留まりの低さに苦しみ続けた。経済団体連合会の会長として戦後の財界を長くリードした土光敏夫氏（故人）は、昭和四〇年当時造船会社の石川島播磨から転じて東芝の社長に就任していた。土光社長は、西島工場長からトランジスタの報告を聞くたびに顔が険しくなったという。

西島　土光さんが血相変えて怒るんですよ。一〇〇つくったら良品が一〇〇取れるのが当たり前だとね。

――はい。

西島　私たちもそれを狙ってはいるんですけれどもね。そうはいかないんですよ、この世界はね。

――造船の土光さんにはそれがわからない。

西島　いつも、歩留まりの話を出すと、とたんに機嫌が悪くなった。

――土光さんが。

西島　ああ、大きな声で怒るんですよ。

――どんなふうに。

西島　「おれは忙しいんだ」なーんて言って、どなり散らす。「船を一〇〇隻つくって、二隻しか浮かばなかったなんてことが考えられるかい、君い」とこうなんですわ、アハハハ。確かに船一〇〇隻で二隻しかできない、なんてことになれば大変ですわな。本当に土光さんには理解不能な世界だったようですね、半導体は。

日立製作所がトランジスタの研究を始めたのは、昭和二六年からであった。後に工場長になる伴野正美氏（故人）を中心に、私的な勉強会が東京国分寺の中央研究所で始まったのは、昭和二五年のこと

であった。最初は文献の輪読が中心であった。おりしも日立製作所は労働争議の渦中にあり、中央研究所にもストライキの嵐が吹き荒れていた。大ストライキ騒ぎが終わった翌二六年に、中央研究所第八研究室で「特殊半導体の研究」が始まり、最初は点接触型トランジスタをつくった。昭和二七年、日立製作所もまたRCAと真空管及びトランジスタなどについての技術導入契約を締結。情報がRCAを通じて入ってくるようになった。二年後の二九年には製造に着手、翌三〇年に「まずまず」と見られるトランジスタの量産に成功した。二年後の三二年になると、日立製作所もドリフトトランジスタの開発に取り組んだが、生産歩留まりは悲惨な状態であった。後に日立製作所武蔵工場長になられた佐藤興吾さん（現在秋田県工業振興協議会会長）は、当時を次のように回想する。

佐藤　高周波用の合金型トランジスタも非常に苦労しました。まず狙ったものはできない。ですから、農業と同じだなあと思いました。農業は天気によって違いますね。ふつう、発電機など他の設計をやる方はパチッと狙ったものをつくるわけですね。ところが、トランジスタは狙ったものができないから、「それは農業だ」って幹部に言われましたね。

——狙ったものができないというのは。

佐藤　たとえば、ある周波数のものを狙ってつくりますね。ところが、できてくるものは大変なバラツキがあって、良、中間、不良といった分布になってしまう。

——狙ったものだけができるんじゃなくって。

佐藤　いろんなものができてきちゃう。それを派生品というんですが。

——派生品？

佐藤　いろんなものができるという意味で派生品。あるいは、いろんなものができる配分率とい

う非常におもしろい言葉がありまして、これは普通の機械を設計した方にはわかってもらえませんでしたね。大いにバカにされました。設計図の図面通りにできないのかと。実際、できなかったんですね。

——なんで、そういうことになっちゃうんですか。

佐藤　いろいろな要因を正確にコントロールできないんです。合金型ですから、合金の面積が変わったり、要するにプロセスを精密にコントロールできなかった。

佐藤興吾氏

——すると、できるものが一個一個違っちゃうわけですか。

佐藤　一個一個違っちゃうんですね。もちろん、ある分布を持っているんですがね。厳密に言うと、まったく同じものがなかなかできない。

——そうすると、まるで一個一個手づくりみたいなものですね。

佐藤　ある意味では手づくりですね。もちろん、量産用の治具をつくってやるんですが、一つ一つのトランジスタで考えると、まったく手づくりそのものでしたからね。

——良品から欠陥品まで一緒にできちゃう。

佐藤　ええ。実際にそれを用途によって使い分けるんですがね。

——それで、配分率という言葉が必要になる。

佐藤　そう。配分ということになるわけですね。

——この特性のものはコンピューター用に、これは高周波用に、この特性のものは低周波アン

プ用に、こっちは測定器用にとか分かれていくわけですね。

佐藤　そうです。そんなことをしていては、工業と言えないかもしれませんね。それでまあ、農業論とか漁業論とか、いろいろと言われたわけです。

▨ 半導体は農業か漁業か

日本電気がトランジスタの研究を開始したのは、昭和二四年のことであった。日本電気の半導体事業の基礎を築き、後にアメリカNECの社長になられた長船廣衛さん（七四歳）の上申がきっかけであった。昭和二八年にアメリカでトランジスタが発明されたことを知った長船氏は、上司に研究を提案するが、「今晩のメシも食えないのに、明後日のごちそうの話なんかするな」と戒められた。それでもトランジスタの研究を上申すると、今度は「研究費ゼロでやれ」と言われた。売り言葉に買い言葉で、長船氏は「結構です。研究費ゼロでやってみせます」と宣言。

こうして日本電気のトランジスタ研究が細々と始まった。当時は戦後の財閥解体が進み、日本電気も過度経済集中力排除法の適用を受けて経営者が追放され、労働者は猛烈なインフレにあえぎ、大ストライキの嵐が吹き荒れていた。大争議のあと昭和二八年に研究所が再開、翌二九年に日本電気はトランジスタの企業化に踏み切った。昭和三二年に長船さんはアメリカのトランジスタ事情を視察し、翌三三年に日本電気はRCA及びGEと技術導入契約を締結。同じ年の春、玉川事業所にトランジスタ専用工場を建設し、トランジスタ市場に本格的な参入を果たした。しかし、ここでもまた生産歩留まりの低さは目を覆うばかりであった。

——GEの製造ノウハウを導入して、合金型と成長型双方の生産を開始した。さて、どうなりましたか。

長船　生産歩留まりが数パーセントなんです。初期のコンピューターをつくるときに、トランジスタのカットオフ・フリケンシー（周波数上限）が五メガヘルツ以上でなければいけないというんですね。ところが、そんなトランジスタは一〇〇個つくって一個か二個しか取れないんですよ。だから、シュツゲンリツと言ったんです、私は。

——何ですか、シュツゲンリツというのは。

長船　出る、現れる、率ですよ。

——ああ、出現率。

長船　そうですよ。

——生産ではなくて出現。

長船　ええ。そうしたら重役会でね、出現率なんて、いかにも幽霊が出るような感じだから、言い方を変えろということになりましてね、発生率に変えたんです。

——発生？

長船　内容は同じでも、ちょっと聞こえがいいでしょう。

——そうですかね。

長船　そうですよ。「出現」なら幽霊が出る感じだけれども、「発生」なら自然にわいてくる響きで、多少はよい感じでしょう。

——蚊がわくとか、ウジがわくとか、あまり感じがいいとは思いませんがね。

長船　そうかなあ。私はそうは思わないんだがなあ。

――それはともかく、ものを製造しているのに出現だの発生だの、それほど歩留まりが悪かったんですか。

長船　ええ。どうにもならなかった。ただ周波数特性の悪いものはオーディオ用に売れましたから、大きな欠損にはならなかったんですがね。

――今のお話は合金型の生産ですね。

長船　合金型と成長型の両方です。

――半導体農業論とか半導体漁業論とか、あったんですってね。

長船　そうなんです。網を揚げてみなければ、何匹とれるのかわからない。これが漁業論ですね。

――農業論のほうは。

長船　ああ、これはお天気次第。今よくても天気次第で急に歩留まりが悪くなる。これが半導体農業論。いずれも気まぐれで不安定な産業というわけです。半導体製造には、ことに夏の湿気が禁物でしてね。だから、気圧が下がってくると急に歩留まりが低下するんです。文字通り、お天気次第というわけですね。

――農業論、漁業論、それに芸術論もあるそうで。

長船　そう。成長型をつくるとき、結晶引き上げの途中で不純物を入れる。あのタイミングね、あの技術には名人芸が必要でした。

長船廣衛氏

――では、生産にはなりませんね。

長船　いいえ、なりましたよ。

――えっ、すると名人がいたわけですね。

長船　私がその名人、アハハハ。本当に私はうまかったんですから、あの成長型は。

――名人のコツは。

長船　ああ、それは沢山失敗することですよ。

――でも、名人が一人や二人いても生産にはなりませんね。

長船　いや、そんなことはないですよ。成長型は一回の結晶引き上げで沢山のチップが取れて、一回成功するとかなり量産できましたから。

――なるほど、合金型よりは量産型なわけですね。

長船　そうです。

――ところで、生産歩留まりの悪さは日本だけのことだったのでしょうか。

長船　いやいやいや、米国だって歩留まりはさんざんだった。学会で歩留まりがどれくらいかなんて質問が出ると「ポジティブ」なんて答えが返ってきた。つまり、きちっとした数字では言えないが、ゼロではないってんですから。

――アハハハ。

九九パーセントの積み重ねはゼロ?

では、ここで本家アメリカに目を向けてみよう。当時WE社は、トランジスタの生産では世界で最も進んだ技術を持つ会社の一つであった。アメリカ電信電話会社「AT&T」の系列企業であるベル研究所が生み出すさまざまな革新的な技術を、電話通信網の充実のために実用化し量産化する役割を担ったのが、WE社であった。そこは、ベル研究所と並んで世界中の技術者が渡米すれば必ず訪れるべきトランジスタ技術のメッカであった。当時ここの技師長をしていたのが、アンディ・アンダーソン氏であった。

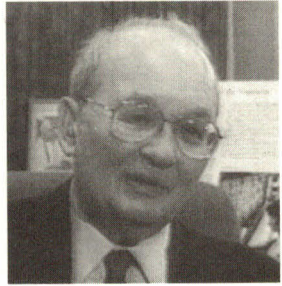
――当時の歩留まりはどのくらいだったのですか。

アンダーソン　私が聞いた最悪の例は、一万五〇〇〇個つくって良品がたったの二個というケースです。だれがやったかは言えませんけれど、私ではなかったんですよ。これが今までに私が聞いた最もひどいケースでした。

――一万五〇〇〇分の二ですか。

アンダーソン　ビル・バーンホーンは、私よりももっとよく覚えていると思います。当時は彼が歩留まり二〇パーセントとか三〇パーセントも得たら、非常に喜んでいたと思うんです。ときには歩留まりゼロということもあったそうですから。

――二〇~三〇パーセントでも喜んだんですか。

アンダーソン　ええ、ところで歩留まりがなぜ大切か、おわかりですね。

アンダーソン氏

──それはもう充分。

アンダーソン　それを上げることがいかに大変かも、おわかりですか。

──聞いてはいますけど。

アンダーソン　たとえば拡散型のトランジスタをつくる場合、全部で一〇〇幾つものステップを踏んでいかなければなりませんね。すると単純に算術計算しただけでも、おのおのステップが九九パーセント完璧であったとしても、結果的には良品は一個もできない。歩留まりゼロになってしまうということです。つまり、それぞれのステップでは九九・九パーセントか、あるいはそれ以上の率を達成しなければならないわけです。

──なあるほど。

アンダーソン技師長の下で生産ラインを直接管理したのが、ビル・バーンホーン技師であった。大勢の女性従業員を相手に、生産歩留まりを一パーセントでも上げようと苦労したのである。何千という女性従業員は、ほとんどが家庭の主婦や高校を出たての素人であった。女性従業員に対して、あなたの担当する作業がいかに重要な仕事であるか、バーンホーンさんたちは口を酸っぱくして説いたに違いない。工程が全体で一〇〇あって、各工程の歩留まりが九九パーセントだとしても、一パーセントずつ不良品が出て目減りすると、最後の一〇〇工程目で良品がゼロ、つまり歩留まりゼロになるという理屈を、彼もまた私たちに強調したのである。これは、当時のＷＥ社で常に言われ続けた理論であったという。当然のことながら、現代の超ＬＳＩ（大規模集積回路）時代にも通用する歩留まり論で

ある。

バーンホーン　製造に関して一番苦労した問題は、やはり歩留まりを上げることだったでしょう。他の産業では製品がうまく動作しなかったときには、返送されてきて修理ということになるのですが、私たちの業界ではそんな悠長なことができませんでした。常に製品は出荷前が勝負でした。製造時に正確につくられなければなりませんでした。

——なるほど。

バーンホーン　ところで、ちょっと想像していただきたいのですが、トランジスタの工程には一〇〇以上ものステップがあるのですが、数学的なことはちょっとわかりませんけれども、一つ一つのステップで一パーセントずつ目減りが起きると、最終的には何も残らなくなってしまうんです。ですから、一〇〇に余る各ステップごとの歩留まりを地道に改善することが、非常に重要だったんです。

——実際の作業に当たったのは。

バーンホーン　私たちが雇ったのは家庭の主婦、高校を出て間もない人たち、あるいは地域の人たちで、みんな基本的な知性とやる気以外には、これといって特別な技能を持たない人だったんです。そんな作業員が、泣いて私のところに来ることがよくありました。女性の作業員が目に涙をいっぱいためて、「バーンホーンさん、今日つくったのはすべて不良品だったんです。私どうしたらいいんでしょう」と言うわけです。私は「辛抱するだけですよ、そのうちよくなりますよ」と言って慰めたものでした。

——ずぶの素人を訓練して、ラインにつけるんですね。

トランジスタ工場跡に立つバーンホーン氏。壁の中は現在超クリーンルーム

バーンホーン　歩留まりを上げるためには、彼らの教育こそが最も大事でした。彼らにすべての作業を教え、訓練し、習熟させることこそが、歩留まり向上の決め手でした。もともと彼らは、非常に熱心な人たちでした。だから、献身的に歩留まりを上げようとしてくれました。

——管理するほうは苦労が絶えませんね。

バーンホーン　半導体工場で働いていると、胸騒ぎのする夜があるものです。夕食をとって家でくつろいでいても、工場では何か変なことが起きているのではないか、という思いにとらわれることがよくありました。何かはっきりとはわからなかったんですが、胸さわぎがするんです。行ってみると、たいがいはまさにその通りで、都合の悪いことが起こっているんですね。

顧客は列をなしていたが……

ニューヨークの町からインターステイツ・フリーウェイ七八号線に乗って西に車で一〇〇キロ走ると、ペンシルヴァニア州アレンタウンの町に着く。WE社はこの町のはずれにある。この町をビルの屋上から一望すると、豊かな森と教会の多さにびっくりする。しかも、教会の形状がそれぞれ大きく異なっているのである。ヨーロッパ各地から多くの移民が移住してきて、町を形成していったからだという。アメリカ自動車業界の顔とも言えるクライスラー会長のアイアコッカ氏は、この町で生まれた。イタリア系移民の子であった。

アレンタウンの町に最初に工場を進出させたのは、ニューヨークの製縫業者たちである。一九二〇年代後半から労働運動の激しくなった都会を敬遠して、製縫業者がアレンタウンに移転した。そこには、働くことをいとわない従順な女性が大勢いて、安い賃金で雇うことができた。やがて製縫業が下火になり、WE社が工場を建設して真空管を量産するようになる。忍耐強く細かい仕事に慣れた縫い子の多くが、そのまま真空管の組み立て作業に雇われたのである。戦後トランジスタ技術が登場するに及んで、アレンタウンの工場も生産の比重を真空管からトランジスタに移していった。そして、世界で最も性能がよく信頼性の高いトランジスタを求めて、顧客も全世界からやって来たのである。

バーンホーン　顧客は、トランジスタの受け取りを今か今かと列をなして待ってました。顧客のほうは顧客のほうで、自分たちの製品にトランジスタを組み込まないと出荷できないわけですから、切実でした。顧客側はしばしば、トランジスタが入荷しないために未完成の製

当時のＷＥ社のトランジスタ製造現場

品が山積みされている写真を私たちに送りつけてきました。トランジスタが不足しているために、彼らがそれより先に進めなくなっているという証拠写真でした。彼らは、自分たちの倉庫の山積みされている途中製品をポラロイドカメラに撮って、郵便で送りつけてきたのです。それを私たちは「トランジスタの不足通知」と呼んでいました。お前たちのせいで、こういう事態になって行きづまっているんだ、というふうに言ってくるんです。もちろんそれを見ると、私たちは追い立てられるように、できるだけたくさん製造しようという気持ちになりましたが、それにも限界がありました。

――顧客は列をなし、生産性は思うように上がらない。

バーンホーン　たとえば歩留まり一〇パーセントのとき、良品が一〇〇個欲しいとすると、ラインに流す投入量は一〇〇〇個必要になりますが、それぞれの工程時間は変わりませんから、どんなにピッチを上げようとしてもうまくいかないわけです。たとえば、インゴットを切る作業はどんなに努力しても、一時間かかるものは一時間かかるわけですから。だから、列をなして待つ顧客に遅滞なく製品を供給する近道は、やはり歩留まりを上げるしかなかったのです。もちろん、歩留まりが上がれば不良品も減るわけですから、製品原価は下がり、利潤が劇的に上がるのは当然ですね。

――教育や訓練にも時間がかかる。

バーンホーン　作業員の習熟曲線を、急に上げる早道などありませんでした。希望する歩留まりを達成するには、それなりの時間がかかったんです。だから、私たちの生産能力が顧客の要求量と見合うことなど、ほとんどありませんでした。一方、顧客は常に「もっと沢山つくれ」と要求してきました。しかも、ほとんどの場合サバを読んで、必要量より多い量を要求してきたんです。そしてある日突然、「もう充分だ」と待ったをかけてくるわけです。「もう三か月分の供給量は充分に満たしたからいらない」とね。そうなると、私たちは従業員がただ座って仕事を待つような状況になってしまい、突然余った人員をほかのどこかに動かさなければなりませんでした。それは大変な騒ぎになるのですが、こんなことがしばしば起きたのです。

――製造の最終予測はどうしたんですか。

バーンホーン　まだパソコンはもちろん電卓もない時代ですから、最終的に仕上がってくる良品

の量を予測するのは大変なことでした。いろいろな工夫をしましたが、出荷量を予測する計算尺をつくったこともありました。円形の計算尺で、工程ごとの窓をつくり、それに歩留まりを合わせると、必要量を生産するにはラインにどのくらい流したらいいのかということが、一目でわかるようにしたのです。また、ある工程以降の目減りもわかるようになっていました。この計算尺自体はよくできていたんですが、実用的ではありませんでした。というのも、肝心の歩留まり自体が一定しなかったからなんです。

——それほど歩留まりが一定しなかったのですか。

バーンホーン　だから、拡散接合型トランジスタが登場したときは、本当に夢のようでした。信頼性が向上し、歩留まりが八〇パーセントに上がったのです。しかも一番感動したのは、予測歩留まり八〇パーセントといえば、必ず八〇パーセントが実現しました。合金型トランジスタや、またそれ以前のトランジスタの場合は、予測歩留まりはあってないようなもので一定しませんでした。生産の信頼性が全然なかったのです。

合金型の初期、ゲルマニウムの小片をピンセットで一つ一つつまみ上げて合金工程のために治具に入れるところから始まって、最後に端子をつけて、ケースに入れ、会社のマークをハンコで押すところまで、あらゆる工程のほとんどが若い女性の手で行われたのである。白衣に白帽の女子従業員がラインにずらりと並んでいるのが、トランジスタ工場の最も象徴的な風景であった。

女性の目と手と根気が頼り

多くの工場の一つ一つについて充分な歩留まりを確保しないと、全体の歩留まりがたちまち低下してしまうトランジスタ産業では、各工程をこなす従業員の熟練度こそが歩留まりを決定的に左右した。また、作業の多くが拡大鏡を見ながら手で行わなければならない微妙な仕事であった。しかも、一個一個の微小なトランジスタを手作業で処理していくには、大勢の作業員が必要であった。微小なトランジスタをしっかり目でとらえることのできる視力、拡大鏡の下でそれらを加工できる手先の器用さ、そして何より、神経の疲れる仕事を忍耐強く続けることのできる根気。この目と手と根気こそが、トランジスタ産業を支える資質であった。それを具えているトランジスタガールを求めて、日本の企業は必死で農村を駆けめぐったのである。

昭和三〇年代後半には、日本もゲルマニウムトランジスタの生産では世界有数の量産国にのし上がり、ヨーロッパを外遊した総理大臣池田勇人は、訪問先の国々でトランジスタラジオを売り込んだ。そうした日本の首相を評して、フランスのドゴール大統領が「トランジスタのセールスマン」と皮肉ったと伝えられているが、日本のトランジスタ生産を支えたのは、手先の器用なトランジスタ嬢たちであった。トランジスタ王国日本は、女子従業員の人海戦術に支えられていたのである。先に登場した東芝の元副社長西島輝行さんは、トランジスタガールの獲得に苦労した話を次のように語ってくれた。

西島　トランジスタ産業で勝敗の分かれ目は、歩留まり向上と並んでトランジスタガールの確保

そして器用な手先と根気であった

女性従業員に必要な資質はよい目

でしたね。女の子をいかに確保するか。当時は文字通り人海戦術でしたから。

――どうやって確保したんですか。

西島　それはもう、四方八方駆けめぐってね、北海道から沖縄まで人探しに走り回った。

――中学ですか、高校ですか。

西島　最初のうちは中学でしたね。一番多いときには、玉川工場だけで女の子が三〇〇〇人はいましたから。

――離職率は何パーセントくらいでしたか。

西島　月に二パーセントくらいでしたかね。

――すると月に五～六人、年に数十人がやめていく計算になりますね。

西島　そうなりますかね。一人の女の子が四、五年は働いてくれましたが、なにせ全体の数が多かったものですから、その補充には大変苦労しました。

――優れた資質の作業員を大量に確保し、彼女たちをなるべく早く教育することこそ

生き残る道だった。

西島　そう。女の子たちは結婚するまでが働ける時期ですから、優れた人材を確保して、なるべく早く一人前にしなければいけなかった。教育することも大切でした。

——教育が利潤に直結した。

西島　あらゆる産業のなかで、半導体産業こそ「教育は金なり」じゃないですかね。

針のない接合トランジスタが登場したとき、多くの人がもはや真空管の時代は終わり、トランジスタ時代の幕が開いたと考えた。トランジスタは、真空管のようにガラス球が破れて破損することもないし、フィラメントが焼け切れることもないから、いったんできてしまえば半永久的な装置だと考えたのである。弱点は高周波特性が悪いことであったが、さまざまな改良でその点もカバーできるようになった。あとは生産歩留まりさえ上げることができれば、トランジスタが真空管を駆逐するに違いないと考えた。

劣化現象で地に堕ちた信頼性

ところが、事柄はそう簡単ではなかった。トランジスタを装置に組み込んで商品として売ったあと、トランジスタが突然機能を失ったり、次第に劣化したりする例が頻発したのである。まず、爆発的に普及したトランジスタラジオに、さまざまな不可解な現象が起き始めた。スイッチを入れて間もなく、電池が減ってもいないのに音が次第次第に消える。天気のよい湿度の低い日には動くのに、雨の日にはなぜか故障したように動作しなくなる。真夏の海岸で強い太陽の下で聞いていたトランジスタラジ

オが、突然鳴らなくなる。やがて、ラジオばかりでなくトランジスタを使った無線通信機などにも、突然機能がダウンする事態が目立つようになった。次第にトランジスタに対する信頼が、地に堕ちていった。トランジスタが真空管にとって代わることなどありえないと、だれもが思うようになったのである。ベル研究所で二重拡散法（後出）を使ったメサトランジスタ（後出）開発に従事し、後にはフェアチャイルド社に転じたジェームス・アーリー博士は、次のように回想する。

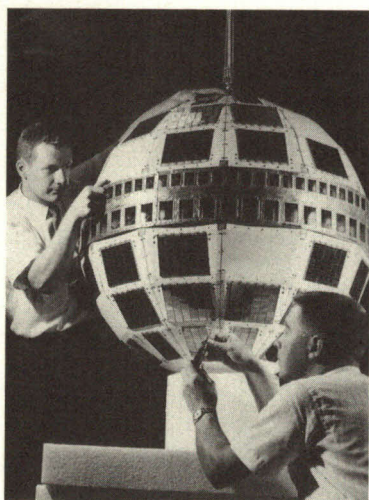
アーリー　劣化現象は、トランジスタが登場した初期の時代から、一九六〇年代の末まで続きました。まず、結晶表面上の水分の作用が理解されていませんでした。また、結晶の中のナトリウムの挙動も理解されていませんでした。それで本当に長い間、劣化問題では苦しみました。

――劣化現象のおもしろい実例がありませんか。

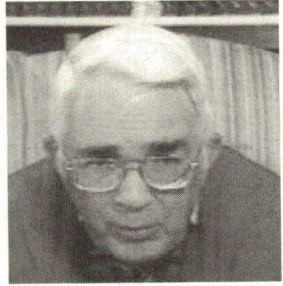
アーリー　米国でトランジスタを宇宙に最初に使ったのが一九五八年（昭和三三年）一月に打ち上げた人工衛星エクスプローラ一号からでした。やがて一九六一年には世界初のテレビ衛星テルスター一号を宇宙に送り込んだのですが、これが失敗に終わりました。主な原因は放射線によってトランジスタが破壊されたからだと言われていますが、多分ナトリウム混入や水分も幾分かは関係していたと思われます。放射線だけでしたら、あれほどの損害は出なかったと思います。

――宇宙の放射線にやられたんですか。

アーリー　衛星を打ち上げた次の日に、大気圏で核爆発が起きたのです。トランジスタが放射線に弱いだろうとは想像していましたが、まさか水爆が大気圏で爆発するとは想像もしてい

人工衛星エクスプローラの打ち上げ

3600個の太陽電池を搭載したテルスター1号

ませんでした。爆発の翌日には大気中に大量の放射能が充満してしまい、衛星は六週間で動作しなくなったのです。一時的には地上からの操作で復旧させましたが、やがて完全に動作しなくなってしまったのです。

これは余談になるが、昭和五一年九月六日、ソ連の新鋭戦闘機ミグ二五が亡命のために日本の函館空港に飛んで来た。日本はミグ二五をだ捕し、パイロットはアメリカに亡命したが、そのときアメリカの軍事関係者はミグ二五を調査し分析した。電子機器を調査した担当者は、使われているデバイスが種々雑多なことに首をかしげた。ICもあればトランジスタ単体もあり、真空管まで使われていた。その後のソ連の推移を見れば、先端技術である超LSIができなくて、とりあえずできるものを寄せ集めただけのことだったのだが、当時アメリカの軍事専門家は、真空管を使っているのは核爆発に対処した

ものだろうと推察した。大気圏で核が爆発すると強烈な電磁波が放射され、それを浴びた金属、たとえば電線などには高圧が発生し、もし金属に電子機器がつながれていたら、高圧電流は電子機器を直撃し、破壊するのである。

一九六二年（昭和三七年）七月八日、その夜ハワイ・ホノルルの人たちは不思議な体験をした。夜の一一時、南西の空が真っ赤に焼け、海はその照り返しで、不気味に輝き始めた。そして間もなく家々のヒューズが次々と飛び、電話が勝手に鳴り出し、ビルの警報ブザーもひとりでに音を出し始め、やがて六〇〇を超える街灯が一斉に消えた。実はこの数分前、ホノルルから一三〇〇キロ離れたジョンストン島から、水爆をつけたロケットが飛び立っていた。宇宙空間での核実験であった。

アーリー氏

通信関係の科学者は、すぐにこの現象の意味を察知した。それは、ひそかに恐れていたことであった。超高層で核が爆発すると大気圏に強烈な電磁波が発生し、それが地表の電線など金属という金属に雷が落ちたような現象を起こすのである。当時は、この現象の重大さを今日ほど深刻には考えなかった。電子社会を構成する素子が、現代ほど微細化していなかったからである。しかし、現代の電子社会で同じ事態が起きたら、ひとたまりもない。アメリカ国防総省は、アメリカ大陸中央部の上空三万六〇〇〇メートルで水爆一個がさく裂したら、全米の電子社会は完全に機能を失い、マヒ状態に陥ると予測している。電子社会は、こうしたぜい弱な側面を持っているのである。その最初の体験がテルスター衛星の失敗であった。余談が長すぎた。先を急ごう。

――トランジスタが弱かったのは、放射線だけだったのですか。

アーリー　とんでもない。宇宙で衛星が浴びる放射線などは特例中の特例でして、日常生活での問題はいろいろなイオンを含んだ空気中の水分による劣化現象でした。これは、枚挙にいとまがないくらいのエピソードがあります。

——水分がどんな悪さをするのですか。

アーリー　空気中の水分や、あるいは水分に含まれているナトリウムイオンなどがトランジスタのPN接合部分に付着すると、いろいろな原因で電流がそこを通ってしまい、せっかくつくったトランジスタから正常な作動を奪ってしまうのです。

——解決法は。

アーリー　プレーナトランジスタが登場して汚染を制御できるようになるまでは、真の解決はできませんでしたが、何よりも問題は空気中の湿度でした。一番困ったのは、トランジスタを樹脂封じにすることができなかったことです。湿度がプラスチック封じの隙間から侵入して、トランジスタを劣化させてしまったからです。だから結局、トランジスタをガラスや金属で真空封じにして、空気から遮断するように密閉しなくてはなりませんでした。

——真空管時代に逆戻りですか。

アーリー　WE社で使われた最終的な方法は、トランジスタを真空にして密閉する方法でした。真空管に使っていた機械で、真空状態をチェックしていました。密閉する前にトランジスタを熱して、容器の中を乾燥させたのです。密閉するときの乾燥度が高いほど、トランジスタの安定性が高くなったのです。

大敵は空気中の水分

先に登場したアンディ・アンダーソンさんも、トランジスタが湿度に弱いことについては数えきれないほどのエピソードを持っていた。金属ケースから出したむき出しのトランジスタに測定器をつないで人間の息を吹きかけると、それだけで測定器が描き出すカーブが激しく変わった。それほどトランジスタは湿度に敏感だったというのである。

アンダーソン　成長型トランジスタを製造開始して間もなく、私たちはトランジスタが環境に非常に敏感なことにびっくりしたのです。特に空気中の水分には、ものすごく敏感でした。

――たとえば。

アンダーソン　最初の成長型のトランジスタは、その前で手を振って風を起こしたり、あるいは息を少し吹きかけただけでも、メーターの針がフラフラしました。だから私たちは、このトランジスタは人間の息づかいさえも感じてくれる「愛情こまやかなトランジスタ」だと、冗談を言ったほどでした。

――「意気に感じる」トランジスタだと。

アンダーソン　それほどデリケートですから、ここアレンタウンで製造を開始したとき、生産歩留まりが劣悪だったのはもちろん、信頼性も劣悪で、私たちは非常な困難に直面したのです。

――原因は何だったのですか。

アンダーソン　空気中の水分がトランジスタの中の接合部分に付着し、肝心のPN接合間に漏れ、電流が起きることでした。

——なるほど。

アンダーソン　今でも鮮やかに思い出すのですが、私たちはライセンスを持っている会社の技術者を呼んで、しばしば研究会を開きました。そんな会合の一つで、参加者の一人がトランジスタの製造はどのような環境が望ましいのかと質問してきました。私たちはそれまで点接触型トランジスタの量産経験しかありませんでしたので、まことにびっくりしたのです。私たちはライン設置場所や環境には無頓着で、タバコの灰なんかがどんどん降ってくるような場所でつくっていたのです。

——何と答えたのですか。

アンダーソン　私と同僚のボブ・ライダーが回答しました。「今はまだわかりませんが、もしそういった環境を特別につくらなければならないとすると、それは非常に特別な環境になるでしょう」と言ったのです。当時はこの回答が未来を予言しているとは気がつきませんでしたが、現在のクリーンルームを見ますと、空気の清浄さ、温度、湿度も精密にコントロールされていますから、私たちの回答は、極めて正確に今日を予言していたということになるわけです。

——当時はどんな対策を講じたんですか。

アンダーソン　私たちは多額の費用をかけて真空気密のカプセル封じにして、しかも中に吸湿剤を入れたんです。これはコストがかさむので、安いトランジスタを欲しがっていたジャッ

ク・モートンは非常に嫌がったんですが、吸湿剤がカプセル中の水分を充分に吸収してトランジスタを保護してくれました。こうして、合金型のトランジスタは非常に信頼性が上がったのです。これを私たちは何百万個も製造しましたが、私が知っているかぎり、今日に至るまで安定して作動しています。

当時のトランジスタメーカーにとって緊急最大の問題は、湿度に弱いトランジスタをいかにして空気から遮断するか、その方法を見つけることであった。だが結局のところ、トランジスタに金属ケースをかぶせ、真空封じにするしか手がなかったのである。

信頼性向上のためには、金に糸目をつけない軍事用のトランジスタはともかく、民生用のトランジスタを金属ケースで真空封じにすることは、コストが高くなりすぎて、結果としてトランジスタの普及を阻むことになった。それでもWE社では、コスト高を承知で、AT&Tの電話回線用にトランジスタを金属缶の真空封じにしたのである。

バーンホーン　私たちがトランジスタを真空封じにしなければいけなくなったとき、私たちは真空管担当者のところに行って、真空装置を借りました。すると真空管担当者たちは、ついにトランジスタも技術的には後退のやむなきにいたったと感じたようです。

——どうして。

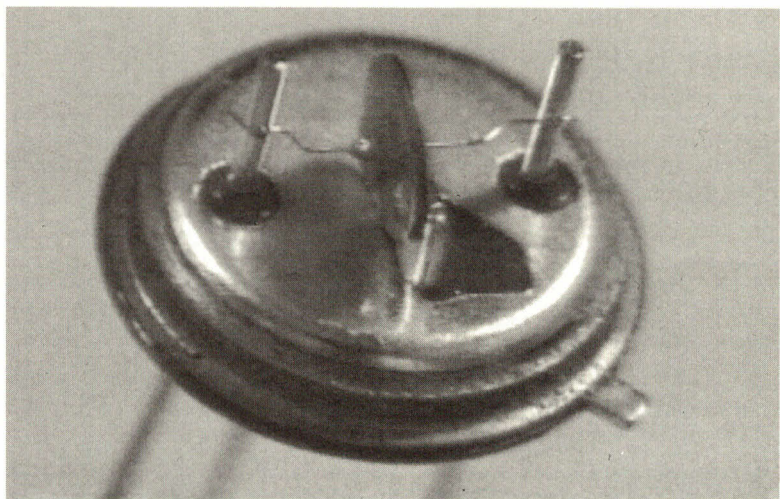
バーンホーン　なぜなら、私たちはトランジスタには真空はいらない、ゲッターもいらない、またフィラメントもいらないと、ふだんから非常に自慢していたからなんですね。だから、真空管担当の人たちは同じビルディングのトランジスタ区域で起こっていることに対して、あまり快くは思っていませんでした。彼らはトランジスタが発達すると、自分たちの仕事

が減っていくと思っていましたから、私たちの自慢話を脅威に感じていたのです。

——それで？

バーンホーン　ところが、トランジスタの缶の中に吸湿材を入れるようになると、それはまさに真空管のゲッターの働きをするわけですから、トランジスタ技術も行きづまったと彼らは思ったわけです。だから、彼らは痛烈な皮肉を私たちに浴びせかけたものです。「あんたたちは、これまでバカにしていた真空管を使い、あまつさえ吸湿材という名のゲッターを使った。今度はいつフィラメントを入れる予定なのか」ってね。もちろん、結果から言えばそうはなりませんでした。やがて私たちは、真空封じも吸湿材も使わなくなったんですからね。

やがては自分たちの仕事を奪ってしまうかも知れないトランジスタ技術の発達を苦々しく思っていた真空管技術者たちの本音が、痛烈な皮肉のなかに垣間見えておもしろい。トランジスタの劣化問題が解決されないかぎりは、真空管は安泰だと彼らは思ったに違いない。事実、軍事的な特殊分野を除いては、トランジスタが真空管に代わって主流になることはありえないと、一時は広く考えられた。それほど劣化問題は、トランジスタの将来を左右する問題だったのである。先に証言された元日立製作所武蔵工場長の佐藤興吾さんも、次のように回想している。

佐藤　劣化については、正直言って最初は何をやっていいのか、まるでわかりませんでした。やがて、使っている水にも問題があるのではないかと気がつきました。悪い水を使うと、できたトランジスタがすぐに劣化したんですね。水の中にちょっとでも不純物が入っていると、それがトランジスタに付着して性能劣化の原因になったんですね。だから、水から二

当時の合金型トランジスタ

重三重に混ざりものを取り除くのに苦労しました。ちょっとでも使う水に注意を怠ると、せっかくできたトランジスタが劣化したのです。

――水の問題というのは、その頃からあったんですか。

佐藤　そうです。ものを大量につくるということがどんなに大変なことか、理屈だけわかっても、ものはできないということを知らされたものです。

――空気を遮断することにも努力なさったんですか。

佐藤　もちろんです。なんとかローコストでトランジスタを空気から遮断できないものかと、あらゆることをやってみました。プラスチック、金属、ガラスなど、さまざまなケースをつくっては試しました。うちでは一時ガラス封じに熱を上げたこともあり

ますが、それはまるで超小型の真空管をつくっているようなものでした。しかし、劣化にからむ表面の問題は、プレーナ型が登場するまでは、何をやっても根本的な解決にはならなかったのです。

アメリカではシリコンへ急転回

昭和三二年にエレクトロニクス振興を目的とする法律「電子工業振興臨時措置法」が公布され、通産省に電子工業課が新設された。その初代課長の古沢実氏、三代目の課長吉岡忠氏の両氏はいずれも物故され、私たちはお目にかかれなかったが、昭和四八年に毎日新聞が連載した特集記事「トランジスタ二五年」では、それぞれ次のように証言されている。古沢実氏（四九年当時公害防止事業団理事長）は「トランジスタ産業がこうまで発展するとは考え及ばなかった」と語り、第三代課長の吉岡忠氏（四九年当時日本電子工業振興会理事）は「トランジスタが出始めた頃は、トランジスタ一個が八〇〇円もしていたから、六石のラジオなら石だけで四八〇〇円。これでは値段が高すぎて、民生用ラジオなどにはとても普及するとは思わなかった」と証言している。トランジスタ産業の初期は、それが日本に根づくかどうか、通産省も疑心暗鬼だったようである。結果的には通産省の需要予測は大幅にはずれ、「予想を裏切ってトランジスタラジオは国の内外で売れに売れ、昭和三四、五年には輸出規制もした」ほどであったという。

トランジスタ需要の伸びを低く見積もっていた通産省は、トランジスタ産業への新規参入を規制した。三菱、三洋、富士、沖電気など後発メーカーに対しては米企業との技術提携をなかなか許可しな

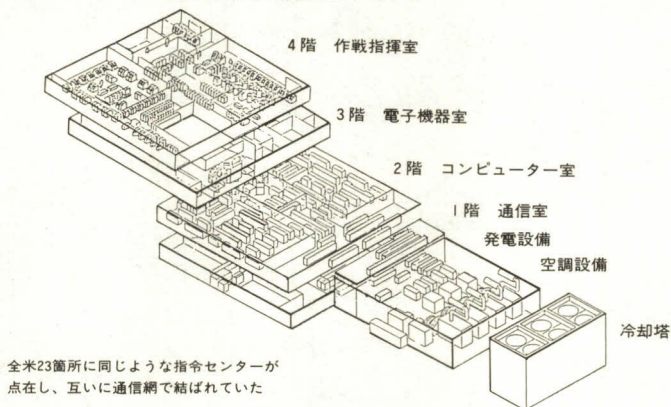
かったのだが、トランジスタの需要はそんな通産省の見積もりをはるかに超えて伸長したのである。昭和三四年、日本のトランジスタ製造会社は全部で一一社。この年の生産高は八六五〇万個。この年だけのことではあったが、トランジスタ生産量ではアメリカを抜いて生産高世界一になった。翌三五年、生産高は一億四〇〇〇万個、続く三六年には、トランジスタの生産高が金額でも量でも真空管を抜いた。これを支えたのが先述した通り、農村の娘たちの目と手と根気であった。

しかし、日本がトランジスタ嬢の手先の器用さに安住しているうちに、アメリカではゲルマニウムからシリコンへと急転回していく。昭和三五年以降のことであるが、アメリカでシリコンに関するさまざまな課題が次々と解決され、シリコントランジスタが実用に耐えるようになっていくのだが、シリコンの実用化をぜひとも必要とした事情がアメリカには存在した。それが宇宙と軍事であった。

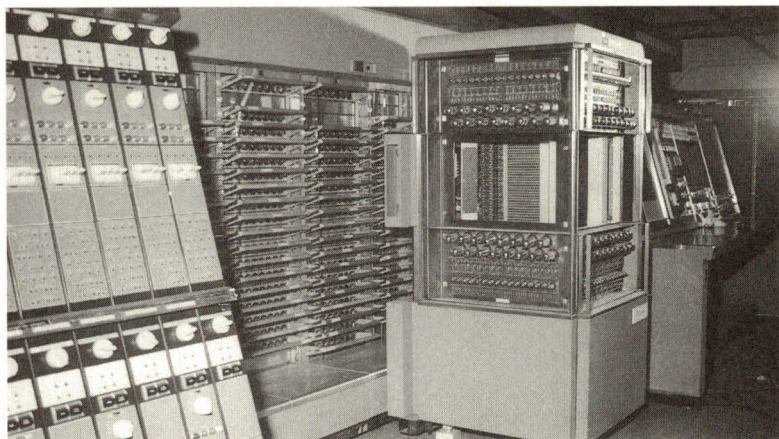
アメリカのボストンにコンピューター博物館がある。それはボストン港に面した倉庫街の一角に立っており、煉瓦づくりの倉庫を改造したそれほど大きくない博物館であるが、ここにはアメリカでつくられ、使われ、廃棄されたコンピューターの実物が数多く収蔵されている。アメリカで発達したコンピューターの変遷を、実物で確認することのできる数少ない博物館の一つである。館内はまだ全部が完成しておらず、収集品の多くが暗い倉庫で陳列されるのを待っていたが、私たちはそれらのいくつかを撮影させてもらうことができた。

世界で最初に米陸軍が大砲の弾道計算用に開発した真空管式のコンピューター「エニアック」。米空軍がソ連の核攻撃から国土を防衛するために造られた真空管式コンピューター・ネットワーク「SAGE（Semi Automatic Ground Environment）半自動防空システム」。IBMが次々に世に送り出したコンピューターの数々。アポロ一一号が月旅行の偉業を達成したとき、宇宙船の運行を司った超小型

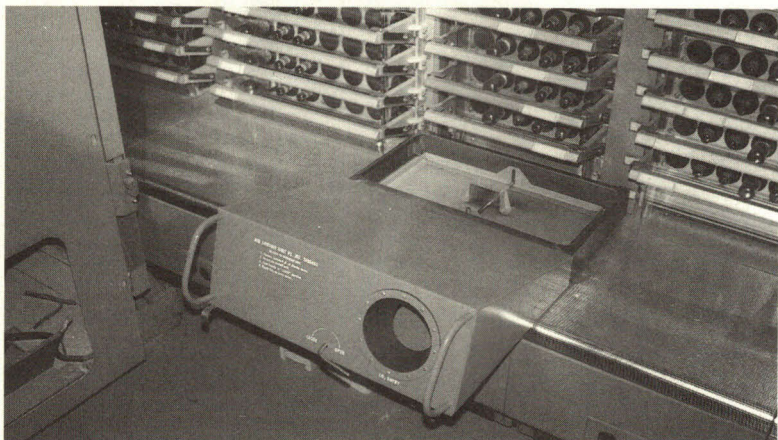
図1　地域防空指令センター

全米23箇所に同じような指令センターが
点在し、互いに通信網で結ばれていた

コンピューター。それらの裏側を見ると、使われた素子が真空管からトランジスタ、トランジスタからIC、ICからLSIへと推移していった様子が手にとるようにわかるのである。

半自動の対ソ防空システム「SAGE」は、全米を覆うレーダー網や全世界の基地や艦船から入ってくるソ連空軍の動静を巨大なコンピューターに入力し、侵略核攻撃機の進路、速度、目標をリアルタイムで割り出し、全軍に迎撃態勢を指示するグローバルな電子システムであった。計画は戦後の一九四九年に提唱され、一九五四年に頭脳部分のSAGEコンピューターFSQ-7の設計製造がIBMに発注された。全システムが完成したのは一九六三年、廃止されたのは一九八四年であった。

SAGEシステムの必要性と意義を国民に訴えるために、米空軍はPRフィルムを制作した。フィルムはIBMの技術者と国防総省の軍人たちの会議から始まり、IBM技術陣の設計風景から各種設備の建設、最後の運用テストに至るまで手際よく描かれ

ＩＢＭ製の真空管と記憶装置。真空管はやがてシリコントランジスタに置き換えられる

ていた。その途中では、要塞のようなコンクリートの五階建てビルの建設風景が写っているが、これがＳＡＧＥコンピューターＦＳＱ-７を格納する、いわばコンクリートの巨大ケースであった。ＦＳＱ-７に使用された真空管が六万本。やがて、画面には完成したコンピューターが運用されている場面が現れ、それらがいかに迅速に侵略機をとらえ、国民の安全に寄与するかが熱っぽく語られていた。

その頭脳部分が超大型コンピューターであるが、一部が博物館の倉庫に眠っていた。膨大な数の真空管モジュールが差し込まれたラック（架台）が部屋の向こうまで続いている。その裏側は色とりどりの配線が、指を差し込む隙間がないほどびっしりと密集していた。モジュール一個には一〇本の真空管と抵抗器やコンデンサーなどが電線でつながっていた（上巻二三ページの写真上）。それら無数のモジュールが上下に二〇段、長さ二〇メートルものラックに差し込まれている。そうしたラックがビルいっぱい設置され、全体としてコンピューターの働きをしたという

火を吹いた真空管を引き抜くための専用の装置

のである。膨大な電力を使うので、専用の発電所が同じビル内に設置されていた。真空管が発する熱でしばしばラックが火を吹き、ラックのそばには一定間隔ごとに消火器と交換用のモジュールが配置されていた。無数のスイッチ群や計器が延々と続く操作机には、一定間隔ごとに直径一メートルはあろうかと思われるブラウン管のレーダースクリーンが設置されていた。ここに敵機の動きが、点や線で表示されたに違いない。かたわらには高さ二メートル、横幅一メートルほどのガラスに囲まれた塔が立っていた。それは、膨大な数の磁気コアメモリーを使ったコンピューターの記憶装置であった。

この巨大なシステムを目の前にしているうちに、ソ連の先制核攻撃を心底から恐れ、その予知と防御のためにはいかなるコストも惜しまないというアメリカの強烈な意思を、私たちは痛いほど感じたものである。そして、おそらく軍の関係者は、これらの小型化と省電力化と信頼性向上には、どんな費用をかけてもよいと考えるようになったに違いない。そ

の最も可能性の高い方法が、トランジスタを利用することであった。ところが、真空管の代わりにトランジスタを使えば、小型化も省電力化も実現できたが、問題は信頼性にあった。先述したように、トランジスタはPN領域の接合部分に水分が付着すると性能劣化を起こすという一般的な傾向に加えて、ゲルマニウムトランジスタにはもう一つ致命的な弱点があった。少しの温度上昇でトランジスタの作動が非常に不安定になったのである。一五〇度以上の温度に耐えられるシリコントランジスタに比べて、ゲルマニウムトランジスタは摂氏五〇度で作動がくるい始めたのである。これでは火炎を噴射するロケットなどでは、装置の温度がたちまち作動限界を超えてしまう。

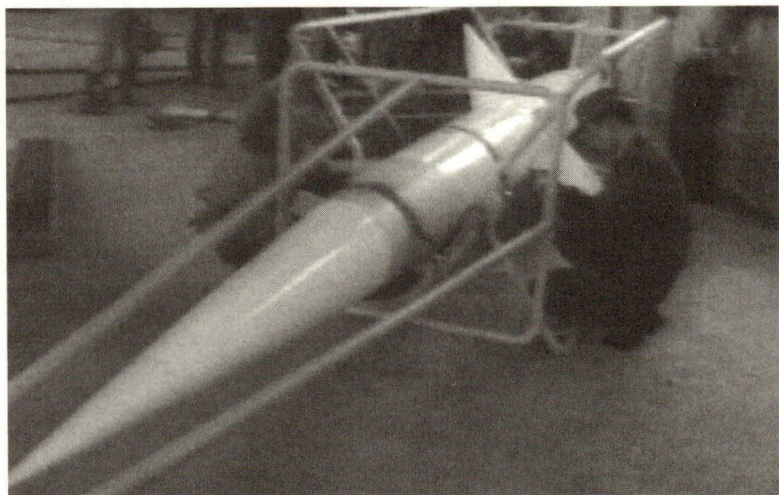
国産トランジスタが日本のロケットに使われたのは、昭和三二年に秋田の実験場で打ち上げられた一二二S型一号ロケットであった。ロケットに搭載した送信機にトランジスタを使ったのである。ところが、あまりに動作が不安定で使いものにならない。部屋の中で調整して発射場に持っていくと、送信能力が怪しくなる。何回となく調整してもうまくいかない。結局、国産トランジスタの使用は時期尚早ということになった。

ブーメランになったミサイル

昭和三三年八月、防衛庁はスイスのエリコン社から「エリコン誘導弾」という練習用のミサイルを購入した。練習用とはいえ、ミサイルを輸入するなど、平和憲法を掲げ専守防衛に徹するべき日本のとるべき行為ではないと、国内に反対運動がまき起こり大きな社会問題になった。平和団体が港に押しかけ、装置の陸揚げを阻止したため、荷揚げの港を変えたほどである。

やっとのことで陸揚げできたエリコンは、防衛庁の研究所で組み立てられた。誘導する方法は、エリコン本体に受信機を搭載し、そこに地上基地から電波を送って操舵した。システムは送信機も受信機も真空管を使っていたが、間もなくミサイルの軽量化をはかるため、真空管がトランジスタに置き換えられることになったのである。この仕事に参加した技術者の一人が、当時三菱電機の若きエンジニア、忍足博さんであった。現在はソニーの子会社マスターエンジニアリングの技師である。

忍足さんのお話を収録させていただくために伺うと、私たちはまず履歴書を渡された。めったにないことなのでびっくりしていると、「まあ、これを読んでいただければ、私が何をしてきたかはだいたいわかると思います。さあ始めましょうか、何でも聞いてください」とおっしゃるのである。そこで、一同、撮影を前にして忍足さんの履歴書を丹念に読ませていただくことになった。

氏名　忍足博（おしたり・ひろし）
本籍　神奈川県
住所　××
生年月日　昭和三年七月三一日
学歴　昭和一七年　神奈川県横浜市立平安小学校卒業。
　昭和二二年　神奈川県立第二中学校卒業。
昭和二五年　旧制第一高等学校理科甲類卒業。
昭和二九年　東京大学工学部応用物理学科卒業。
職歴　昭和二九年　八欧無線（株）研究部入社、トランジスタ素子開発に従事。
昭和三四年　退社。

練習用ミサイル、エリコン

昭和三四年　三菱電機（株）入社、ミサイル用トランジスタ回路開発に従事。
昭和三六年　約八年間、ＩＣ素子開発に従事。
昭和四四年　退社。

専門分野　真空管、半導体回路、半導体材料その他電子材料、特許、技術管理。

業績　三菱電機社長表彰、事業部長表彰。

縁戚　実兄が東京大学経済学部卒、三井物産石油社長。義弟に東京大学薬学部卒、東京医科歯科大学教授。東京工業大学卒、日清紡績工場長。東京大学工学部卒、新日本製鉄部長。

――この履歴書によりますと、忍足さんはミサイルに関係されたことがあるんですね。

忍足　ええ。エリコンていう練習用のミサイルでしたがね、当時はまだミサイルの制御に真空管を使っていたんで

すが、これをトランジスタ化して、舵のコントロール回路に一部シリコントランジスタを使っていたんです。ところが、いざ試射してみると、トランジスタに電流の漏れが起きてミサイルの舵が曲がっちゃって、発射直後にミサイルが方向を変えて、ブーメランみたいに発射したところに戻って来ましてね。アハハハ。

——アハハハ、トランジスタが作動不良で？

忍足　というより、そのときは回路のせいだったんですがね。ミサイルの舵はＩＣＯという装置に電流が流れることで曲がるんですが、電流がゼロなら舵は曲がらないで真っ直ぐなんです。それがゼロのはずが電流が流れちゃって舵が曲がって、それで発射後帰って来ちゃった。昔はトランジスタっていうのは電流漏れが多かったんですよ。

——一般的に言って、トランジスタは何が一番問題だったんですか。

忍足　温度に対する安定性ですね。ミサイルだからロケットエンジンに点火すると、機内温度が五〇度くらいになるんですね、密閉されてますから。下手をすると、三〇分くらいで、すぐに温度は五〇度から六〇度くらいになってしまう。それで、温度に弱いゲルマニウムじゃ駄目だからっていうことで、シリコンを使っていたんですが、シリコン技術がまだ確立していなかったので、なかなかうまくいきませんでした。

忍足博氏

履歴書にあるように、この仕事のあと忍足さんはＩＣ開発チームの一員として八年間も情熱を注ぎ込むことになるのだが、その悪戦

苦闘ぶりについては、下巻の国産ICのパートで詳述する。ここでは、もう少し忍足さんの話に耳を傾けてみよう。ゲルマニウムトランジスタの温度特性とは何の関係もない話であるが、トランジスタ産業の将来性が当時いかに未知数だったかを見事に物語る逸話である。

忍足　私が東大を出て八欧無線に入ったのは、昭和二九年四月なんです。最初ソニーに入ろうかなと思って、二八年に見に行ったことがあるんですが、ソニーは当時テープレコーダーしかやっていなかったもんですから、ソニーに入るのを思いとどまったんです。そして八欧電気に入ってから、当時の部長にトランジスタを始めろと言われて、電気試験所に実習に行ったんですよ。電気試験所では菊池誠さん（元ソニー中央研究所所長、六六歳）が室長で、垂井康夫（現在東京農工大学教授）さんとか傳田精一さん（現在コニカ常務取締役）とか、あの辺の連中がトランジスタをやっていまして、毎週一回いろんな資料とか外国文献の読み合わせを中心にセミナーをやっていました。私もそれに出てたんです。

――なるほど。

忍足　それから、昭和二九年九月には東北大学で西澤先生が助教授から教授になられ、トランジスタに関するセミナーを仙台で開かれたんです。各社からだいたい八〇数名出たんですがね、私もそれに出ました。そんなわけで、私もトランジスタを試作したんです。それを社長に見せましたら、八欧社長がそんな簡単にできるんだったら、うちでも本格的な製造をやろうって言われまして、設備に何千万円か投資することになったんです。

――いよいよ、トランジスタ業界に参入ですね。

忍足　ところが、八欧社長が占いに凝ってましてね。新しい事業をやるときには、必ず占い師に

占ってもらったんですね。そうしたら、どうもトランジスタはよくない、という卦が出ましてね、設備投資を始めて三か月たったところで、突然やめろと言い出した。

——占いの結果が、トランジスタは駄目だと。

忍足　そう。それで私はすっかり会社が嫌になって、恩師の高木先生のところに相談に行ったら、先生が三菱に行けと。おりしも三菱では、エリコン・ミサイルのトランジスタ化という仕事があったもんですから、昭和三四年三月に入社ということになって、三菱に行ったわけです。

——しかし、今にして思えば、占いは大はずれですね。

忍足　結局、八欧は私が辞めたあと、再びトランジスタを始めたんですよ。しかし五年くらいやってましたけど、歩留まりが悪くて投げ出しちゃったんですね。だから、私なんか今でも八欧時代の昔の仲間がいるんですけどね。

——今の状況からするとその占いは大はずれで、占い師に責任とってもらわないと。

忍足　そうですね。しかも、八欧は私が出て間もなくつぶれましたからね。当時、八欧のゼネラルは急成長の会社で、増資に次ぐ増資で本田技研か八欧電気かっていうくらい嘱望された会社だったんですが、あっという間に凋落して。

——占い経営の結果ですかね。

忍足　私が辞めたときは資本金が二〇何億でしたが、またたく間に七分の一に減資して、おかげで私も株を持ってたんだけど、下がっちゃって紙になっちゃってね。しようがないから売っちゃったんだけど、えらい大損をしました。

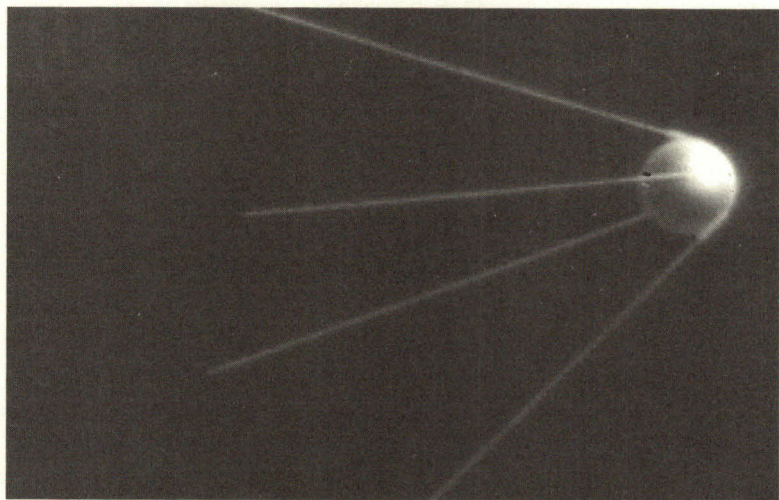
――今は、八欧電気は何という会社になっているんですか。

忍足　富士通に吸収されて富士通ゼネラルですね。

アポロ計画と電子機器の超小型化

さて、本題に戻ろう。ゲルマニウムトランジスタがいかに熱に対してぜい弱だったかを見てきたが、そんなトランジスタは怖くて宇宙ロケットやミサイルには使えない。したがって、軍事システムのトランジスタ化を推進したいアメリカでは、ぜひともシリコントランジスタを開発する必要があったのである。シリコンは高温でも安定して動作し、温度特性がゲルマニウムより優れていた。

これは後に詳述することになるが、電子機器の超小型化をアメリカが猛烈に推進するようになるのは、一九五七年(昭和三二年)にソ連がスプートニクを打ち上げてからである。通信機を積んで宇宙に飛び立ったスプートニクは、軌道上から地上に信号を送ってきた。やがて犬や人間を乗せて軌道を周回し、地上に戻ってくるようになった。ドイツが第二次大戦中にV一号や二号の開発を通じて蓄積したロケット技術を、科学技術者ごと根こそぎ確保できたソ連は、ロケット技術ではアメリカより格段に進んでいた。当時は、アメリカのロケット技術では推力が足りなくて、ソ連と同じようなペイロード(荷物重量)を宇宙に打ち上げることができなかったのである。

アメリカの軍事関係者は、スプートニク打ち上げに激しいショックを受けた。推力の差はロケットの到達距離の差につながり、ペイロードの差はそのまま運搬できる核弾頭の差につながると考えたからである。彼らは二つの目標をかかげて、ソ連のロケット技術に追いつこうとした。ロケット技術そ

スプートニクは米ソのロケット技術の格差を明らかにした

のものの開発と、搭載機器の小型軽量化。それを国民的な目標にフレームアップしたのが、「一〇年以内に人間を月に送り込む」と宣言したケネディ大統領のアポロ計画であった。一九六〇年代を通じてアメリカの技術者たちが電子機器の超小型化に膨大な情熱を注ぎ込んだ背景には、こうした事情があった。

そんなわけで、米国ではミサイルや宇宙開発などに高品質で信頼性の高いトランジスタがどうしても必要であり、そのためには実用に耐えうるシリコントランジスタを開発しなければならなかったのである。日本電気の長船さんが昭和三二年にアメリカに出張したおり、WE社のアンディ・アンダーソンの好意で、コロラド大学で軍が主催した非公開の秘密研究会に出席したが、そこで熱心に討議されたのが軍事用特殊半導体の方向についてであり、とりわけシリコントランジスタの開発であったという。そこには、トランジスタの発明者の一人であるウォル

ター・ブラッテンをはじめ、全米のそうそうたる研究者が参加していた。長船さんが若き日のロバート・ノイスと知り合い、長く親交を結ぶのもこの会合がきっかけであった。

上巻で触れたことであるが、このときブラッテン博士からバーベキューパーティーに誘われ、博士の車に乗せてもらった長船さんが、感激のあまり博士のハゲ頭を後部座席から写真に撮った。これがノーベル賞の頭かと感動したのだという。そんな出会いのなかから長船さんは「ゲルマニウムの時代は終わり、次にシリコンの時代が来る」と気づくのである。日本電気が同業他社より一足早くシリコンに着手したのは、そうした経験が大きくものを言ったのだが、他の日本企業がシリコンの研究に着手するのは昭和三三年以降のことである。民生品のラジオが需要の中心だった日本では、シリコントランジスタの必要性はなかった。扱いにくく、まだ技術が確立していないシリコンに手を出して苦労するよりは、トランジスタガールの目と手と根気に頼って、人海戦術でゲルマニウムトランジスタを製造するほうが確実な利益を手にできた。したがって、日本のシリコン技術はアメリカに遅れをとるのだが、それはシリコン技術の延長線上にあるＩＣ（集積回路）や、ＬＳＩの技術的立ち遅れにつながっていくのである。

半導体史上の二大発見

半導体技術を支える酸化膜

シリコンを材料にしてトランジスタをつくれば、高い温度でも安定して動作するであろうことは充分知られていたことであった。にもかかわらず、シリコンを使いこなせなかった理由は、その物質的な性質にあった。なにせ化学的な活性が激しく、溶かした状態では、あらゆる物質といとも簡単に化合してしまうのである。しかも、融点が摂氏一四二〇度という高温で、溶かすことも容易ではなかった。

トランジスタは結晶に微量な伝導物質を添加することで、その電気伝導度と電気的性質を変えてやることによって成り立っている技術である。だから、トランジスタの材料として使う素材を、純度九九・九九九九九九九九九パーセントという限りなく一〇〇パーセントに近い純度にしなければならないのだが、その方法が見つからなかった。ゲルマニウムの場合はゾーン・リファイニングという方法が開発されて、純度の低い素材を超高純度に精錬することができた。だが、シリコンではその方法が通用しなかったのである。炭素の容器にシリコンを載せて加熱炉に入れると、シリコンが容器の炭素と化合して、シリコンカーバイドという別の物質に変質してしまうのである。これでは純化どころではなく、シリコンをわざわざ炭素という不純物で汚染しているようなものである。結局、シリコンの精製はゾーン・リファイニングといった物理的方法ではなく、純度の低い金属シリコンを溶剤で溶かしてガス化し、蒸留塔で何度も精製していくという化学的な方法に頼ることになるのだが、これについては後述する。

さて、次に超高純度に純化したシリコン多結晶を単結晶に変えなければならない。多結晶というのは、砂糖にたとえれば角砂糖で、サイコロ状の形をしていても微粒結晶の集まりにすぎない。これを氷砂糖の状態にしたものが単結晶である。微粒結晶の集合体にすぎない多結晶の状態では、電気の運び屋が結晶と結晶の隣接部を通るときにエネルギーを失って電気を運んでくれなくなる。したがって、トランジスタ材料として使うには、超高純度に精製した多結晶を単一結晶につくり直す必要があった。この方法も見つからなかったのである。ゲルマニウムを単結晶にするときは、炭素の容器に超高純度多結晶を結晶引き上げ炉に入れて単結晶にしたが、そんなことをすれば、せっかく超高純度に精製してあるシリコンが容器の炭素と化合して、とんでもない物質に変質するからである。

上巻でも登場したアディソン・ホワイトさん（八二歳）は、一九五〇年からトランジスタの開発に深くかかわるようになり、数ある半導体材料についての研究プロジェクトを相互に調整し、それらの研究結果を有効利用させる仕事についていた。彼はシリコントランジスタへの転換について、次のように回想している。

ホワイト　トランジスタの性能を上げ、製造コストを劇的に下げた立役者はシリコンでした。地球資源としては希少資源であるゲルマニウムよりは、地球上どこにも無尽蔵に存在するシリコンが、原料として絶対有利なことは当然でした。ところが、シリコンは融点が高く、扱いにくい物質でした。一九五二年にゴードン・ティールとビューラーがシリコンの単結晶を試作したことがあるのですが、当時はシリコンがトランジスタの主流になるとはだれも考えませんでした。

――シリコン単結晶をつくる難しさは何だったのですか。

ホワイト　融点が一四二〇度という高温ですから、シリコンの単結晶をつくろうとすると、ゲルマニウムで使用したようなグラファイト（高純度炭素）のルツボが使えない。中でシリコンを溶かすと、ルツボの表面が溶け出してシリコンと化合し、シリコンカーバイドができてしまうんです。そこで耐熱性の高い石英（二酸化シリコン）のルツボを使うと、今度はルツボの二酸化シリコンから酸素が飛び出し、シリコンと結びつく。すると、できる単結晶の電気伝導度が大幅に変化して、トランジスタとしては使えなくなるんです。

——だれがどうやって解決したんですか。

ホワイト　ヘンリー・セウラーでした。一九五三年に彼がフローティング・ゾーンの方法を考案しました。これはウィリアム・プファンがゲルマニウムの精製に使ったゾーン・リファイニングの原理を応用したものでした。ゾーン・リファイニング装置はふつう横に置きますが、それを垂直に立て、上から吊り下げたシリコンを高周波コイルの中心に通すことで、シリコンを何ものにも触れさせずに溶かすことができたのです。こうすればルツボを使わなくて済みますので、シリコン材料を他の物質に触れさせることなく溶解し、単結晶に成長させることができたのです。

——なーるほど、巧妙ですね。

ホワイト　そうです。このフローティング・ゾーンによるシリコン単結晶製造法がシリコン時代の到来を加速したことは、言うまでもありません。

六〇ページの写真は、フローティング・ゾーン装置の一例である。石英管の中央部に高周波コイルが巻きついている。石英管の中心には、上下双方から回転軸が伸びている。多結晶シリコン②を上から

の回転軸①に取り付け、種結晶⑤を下からの回転軸⑥に取り付ける。双方を回転させながら接近させ、接触寸前の状態にしておく。石英管を密封し、不活性ガスを流し、コイル④に高周波電流を流す。やがて多結晶が溶解し始め、あめのように垂れ下がろうとし始める。その頃合を見計らって、回転する種結晶を下から静かに接触させる。あとは種結晶を時速数十センチの速度で下方に移動させていくと、溶融シリコンがツララのように下方向に成長し、結果として何ものにも接触することなく、シリコン単結晶が完成するのである。

化学的活性が非常に強くて何とでも結びつき、したがって扱いにくいというシリコンの性質は、最初は重大な弱点であった。しかし、化学的精製と単結晶化の方法が確立してしまうと、シリコンの弱点は大きな長所に転化するのである。何とでも化合しやすい性質のシリコンを、水蒸気の流れる高熱炉に入れてやると、シリコンは空気中の酸素と結合して表面が酸化シリコンに変化した。しかし、酸化は一定の厚みまで進むとそれ以上は進行せず、今度はシリコン表面にできた酸化膜が、シリコンを外界から遮断する役目を果たしたのである。酸化膜は薄くて丈夫で、電気的な性質は電気を通さない絶縁体であった。この酸化膜の発見こそが、その後に開発されるシリコントランジスタや集積回路、ひいては現代の半導体技術への道に続いていた。

ホワイト氏

上巻の第1章で見た通り、現代のＬＳＩ製造法は、まずシリコン表面に酸化膜をつけ、その上に感光剤を塗り、写真エッチングの技術を使って必要な場所に窓を開け、そこから必要な伝導物質(電気の運び屋)をさまざまな方法で注入しているのである。酸化膜の発見が

フローティング・ゾーン装置
①——回転軸
②——シリコン多結晶
③——シリコン単結晶棒
④——高周波コイル
⑤——種結晶
⑥——回転軸

なかったら、現代の半導体技術そのものが成り立たなかったと言っても過言ではない。

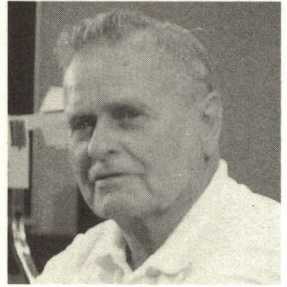
半導体表面を覆う絶縁皮膜が簡単にできるかどうかは、その素材の発達を決定的に左右する。化合物半導体として高性能な素子をつくることのできるガリウム・ヒ素が、シリコンのように主流デバイスになりにくいのも、その表面にシリコン酸化膜ほど簡単で良質な絶縁皮膜ができないからだと言われている。それほど半導体素子における表面皮膜は重大な意味を持つのだが、もしシリコン時代が来ないでゲルマニウム時代が続いたと仮定すると、集積回路の技術が登場したかどうか疑わしい。ゲルマニウムも高温で加熱すれば表面には酸化膜ができるが、それはシリコンのように高密度で強じんな皮膜にはならないからである。

だから、シリコン酸化膜の発見は半導体史上の知られざる重大事であった。

シリコンの高温処理法を研究中に

この技術を生み出したのは、ベル研究所のカール・J・フロッシュとリンカーン・デリックであった。一九五四年、彼らは拡散法でシリコントランジスタをつくろうと苦労している最中に、重要な発見をしたのである。シリコントランジスタの開発史で言えば、後述する拡散法という伝導物質添加の方法も酸化膜の発見と同じくらい重要な技術であった。前後関係から言えば、拡散法の発見のほうがずっと前であるが、ここではまず酸化膜の発見について、発見者の話を聞くことにしよう。拡散法の発見者カルビン・フラー博士は、酸化膜の話が終わったあとフロリダに訪ねることにする。

主任研究員のカール・J・フロッシュはすでに他界していた。フロッシュの助手をしていたリンカーン・デリックさんは存命であった。ベル研究所のあるマレーヒルから車で一時間ほどの町に住んでいたが、面会の場所はぜひベル研究所にしたいというのである。話のはしばしから、一生をベル研究所で働けたことを彼がいかに誇りにし、懐かしく思っているかが感じられた。戦時中は戦闘機ムスタングを操縦して、ゼロ戦と空中戦を何度も体験した古参のパイロットということであった。会ってみると、小柄で頑丈な、いかにも歴戦の勇士といった老人であった。ベル研究所の玄関で握手をかわすと、広報氏の案内を待たずにさっさと歩き出した。長い廊下を渡り、エレベーターで五階に上がった。彼がフロッシュと一緒に研究をしていた場所は、現在会議室になっていた。扉を開けて入るなり、彼は「ああ、まったく変わってしまった。ここには拡散炉がいくつも並んでいたんですがね」とつぶやいた。そして、彼が指さす場所には会議用の大きなビデオスクリーンが立っていた。

――カール・フロッシュというのはどんな人でしたか。
デリック　すばらしい男でしたよ。ただ一つだけ問題がありました。タバコの吸いすぎです。彼はそれで死んだようなものです。
――肺がんですか。
デリック　それよりひどかったですね。肝臓から何から全身をがんに冒され、亡くなりました。タバコなくしては、一秒もじっとしていられなかったのです。毎日四パックもタバコを吸う男でした。私たちは彼をやめさせることができなかったのですね。そのうち恐ろしいことが起きるんじゃないかと、冗談めかして言ったんですが、彼は気にもとめないようでした。常に指からタバコが離れず、指はニコチンで真っ黄色でした。タバコを持ちながら書いたり、研究したりしていました。しかし、一緒に働く男としては実に最高でした。
――やはりカール・フロッシュさんのほうが年上ですか。
デリック　私は三八歳で、カールはたぶん四七歳かその辺だったと思います。
――研究の鬼だったんでしょうね。
デリック　カールは一〇〇パーセント科学者で、研究室で働くのが大好きでした。彼には何度も管理職になるチャンスがありましたが、管理職になれば、ラボに戻れなくなると考えて断り続けました。研究所側は彼が退職年齢になっても退職して欲しくなかったので、カールが五九歳か六〇歳で退職したいという意向を示したとき、給料を大幅に上げるから退職を遅らせないかと提案しましたが、彼はそれを振り切って辞めました。
酸化膜発見の瞬間を話してもらった。彼は「この話は本当はカールの口から直接するべきなんだ」

デリック氏

と何度も断りながら話しだした。アメリカの科学者は他人の業績と自分が果たした役割を峻別するが、デリックさんもそうであった。論文では連名になっていても、自分は補助的な役割を演じただけだから、フロッシュが生きていたら自分などがしゃしゃり出て話すべきことではないというのである。

デリック　一九五二年にラボに入りました。カール・フロッシュの面接を受け、アシスタントとして採用されました。

最初の二年間は私たちはシリコンカーバイドの研究をしていましたが、やがてシリコンダイオードへと仕事を広げていきました。シリコン結晶の片側にリンを拡散し、反対側にホウ素を拡散し、PN接合の構造をつくったのです。この仕事が二年ほどで終わりましたので、次にシリコントランジスタの仕事をやるように言われ、フロッシュと私はシリコンと本格的に取り組むことになりました。

——シリコンは何が問題だったのですか。

デリック　シリコンは高い温度で熱することができないというのが、最大の問題でした。高温で熱すると、たちまち分解してしまうのです。そんなわけで、シリコンに着手してから一年半もの間、高い温度でシリコンを熱しても表面が壊れないような方法がないものかと模索しました。

——どんなことをしたのですか。

デリック　思いつくことは何でも試し、さまざまな方法を考えては次から次へとテストしました。

とにかくシリコンというものは腐食が激しくて、熱すると結晶表面に無数の穴ができてしまうのです。だから、結晶表面に防護膜をつくる方法がないものかと考えました。そこで、さまざまなガスの中でシリコン結晶を熱してみました。純粋メタンガス、純粋な一酸化炭素のガス、水素、超高純度ヘリウムなど、とにかくあらゆるものをテストしました。しかし、シリコンを高い温度で熱する方法は見つかりませんでした。どうやっても、シリコン表面にできた膜が簡単に分解してしまうのです。

リンカーン・デリックさんたちが担当した仕事は、シリコン結晶板に伝導物質（不純物）の拡散をしてやることであった。拡散炉という高熱炉の中には、伝導物質のガスを不活性ガスに混ぜて流してある。この中にシリコン板を入れて高温で熱すると、結晶表面から伝導物質がしみ込む結果、シリコン表面が伝導物質と同じ性質に転化するという技術であった。

当時、これを使って第3章で詳述する「拡散トランジスタ」の研究が盛んに行われていた。トランジスタの研究者たちは、だれもがまず最初にリンカーン・デリックさんたちのところに持ち込んだ。拡散を施してもらうためであった。

試行錯誤、そして偶然の発見

デリック　この部屋は昔、拡散炉の部屋でした。そして、カールと私は、この部屋で酸化膜を発見したのです。当時ここには五つの拡散炉が並んでいまして、デバイスをつくる人は必ずカールに拡散を頼みました。サンプルはいつもカールが準備して、依頼された設計通りに

拡散してあげたのです。私はそんなカールの手伝いをしました。

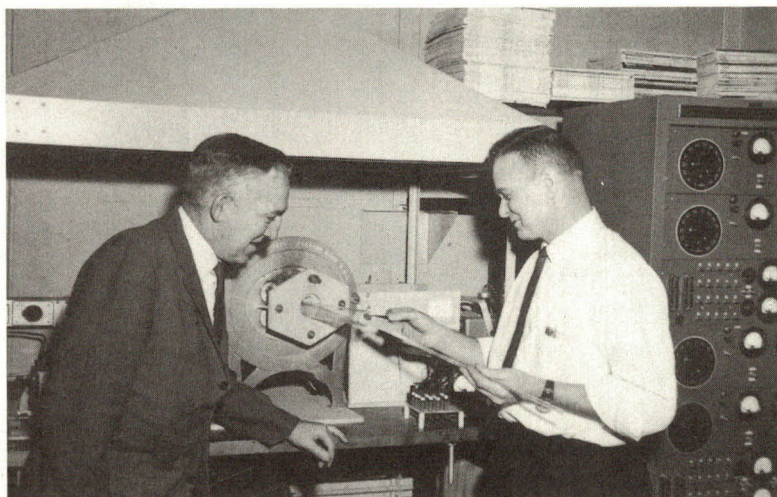
――なるほど。

デリック　当時私たちは、炉の中に流す水素を水素タンクからパイプで引いて、バルブとコックで調節して使っていました。使った水素ガスはチューブの先端で燃やし、水蒸気にして空中に放出していました。ところが、ある日のことですが、はっと気がつくと、炉内の水素圧力がゼロに落ちていました。そこで、ハンドルを回して炉内の圧力を上げたんですが、すぐゼロに戻るのです。こんなことが一五分から二〇分続きました。結局、これじゃ駄目だということに気がつき、炉内の水素を不活性ガスの窒素で置換して洗い流したうえで、炉内のサンプルを取り出しました。それは意外にも、宝石をちりばめたような、キラキラとした硬質の輝きを放っていたのです。

――それが酸化膜だったのですか。

デリック　そうなんです。私はびっくりしてカールを呼びました。私たちの研究室は二階にありましたので、カールは五階のここまで息せき切って上がってきました。着くなりカールは、「表面をフッ酸でふいてみよう」と言いました。おそるおそるサンプルの表面をフッ酸で処理して、酸化膜を取り除いてみました。すると感激したことには、下からまったくきれいなシリコンの生地が現れたのです。つまり、シリコン表面に薄い酸化膜ができると、今度はそれが中の生地を守ってくれたというわけです。

――偶然の大発見ですね。

デリック　カールはとても洞察力の鋭い科学者でした。バルブの不具合から炉内を流れる水素が

デリック氏（右）の急報で、拡散炉の前に駆けつけたカール・フロッシュ（左）

ゼロになり、内部の圧力がマイナスになったため、外へ放出すべき水蒸気が逆流して炉内を満たした。つまり、丈夫な酸化膜ができたのは水蒸気に原因があった。だから、今度は逆に炉内に水蒸気を流せば、丈夫な酸化膜ができるはずだ。カールはそう推定したのです。

——なるほど。

デリック　私たちはシリコンサンプルを炉に入れて、今後はわざと水蒸気を流し、一三〇〇度で一五分か二〇分間熱しました。すると、シリコンの表面にはとてもすばらしい酸化膜ができました。

——これを発見するまでどれくらいかかりましたか。

デリック　あらゆる試行錯誤を繰り返しましたので、一年半かかりました。本

当にいろんなことを、すべてのことをしました。最初私たちは、いかにしてシリコンの酸化を防ぐかということにばかり神経を使っていました。水素ガスを使うときでも、いかにして酸素ゼロのものを使うか、苦労したほどです。シリコンに触れるあらゆる物質から酸素を取り除こうとしました。酸素だけには絶対触れさせてはいけない。活性の激しいシリコンが、これまた活性の激しい酸素と高温下で触れたら、たちまちシリコンは酸素と化合し、シリコン全体が酸化して使いものにならなくなるに違いないと考えたからです。

活性の激しいシリコンを化合力の強い酸素などにさらすと、あっという間にシリコン全体が酸化物になってしまい、崩壊してしまうに違いないと勝手に想像し、むしろシリコンをいかに酸化させないようにするかということに腐心した。したがって、シリコンを酸化させる実験など、わざわざするはずがなかったと言うのである。

――全体が酸化して、どうなると想像したのですか。

デリック　シリコン全体が酸化して、バラバラになるんじゃないかと考えました。だから、無数のガスを試しながら酸素ガスだけは一度もやったことがなく、最初から除外していました。まったく皮肉にも、その酸素こそシリコンの救世主だったのです。

――ベル研究所内の反響はどうでしたか。

デリック　詳しいことは覚えていません。とにかく、みんながかなり喜んでいたということだけは記憶にあるんです。当時はだれもがシリコンの熱処理に苦しんでいましたから。私の記憶が正しければ、多くのエンジニアを連れて来て見せたのです。で、みんなが一斉に私たちが発見した方法を取り入れました。これがきっかけとなって、すべての人がシリコンの

拡散トランジスタをやりたいと言い出したのです。というのは、私たちの発見でそれが可能だとわかったからです。さっきも言ったように、それより前はまったく考えられもしないことでした。シリコンは熱すると、すべてが破壊されてしまったからです。

皮肉にも実験の手違いからか、装置の故障からか、偶然のミスから拡散炉に水蒸気が混入し、予想もしない丈夫な絶縁保護膜ができた。そして、その発見がその後の半導体史に果たした役割は、すでに上巻第1章で見た通りで、現代半導体技術の重要技術の一つになっている。この大発見をリンカーン・デリックさんは、今どう考えているのだろうか。

デリック　えっ、酸化膜発見の歴史的意義？　そうですね、その当時は全然わかりませんでした。だれ一人、本当の意味で知っていたとは思えないのです。もちろん、私たちは気分として大きな発見をしたという自覚はありました。でも、発見した直後は、これがどのようなものに発展するか予想しえた者はいませんでした。その後ベル研は、集積回路にとっては大きな発見であったと書いてはいますけれども、まあ、酸化膜がなければ集積回路の発明はできなかったでしょうからね。

——今はどうお考えですか。

デリック　アハハハ、今の私には何の意味もありません。だって大昔のことですからね。

——だって、あなたの発見によって…。

デリック　いやいや、私の発見ではありません。カール・フロッシュの発見です。私は彼のアシスタントだったんですよ。それに、あの研究には私たちのほかにも多くの人が関与していましたから。

▩ 結晶表面を自由に変えるガス拡散法

「酸化膜の発見」と並んで、半導体技術の発達史上で非常に重要な役割を果たしてきたのは、「ガス拡散法」の発見であった。これからその発見者に会いに行くことになるが、その前に少し復習をしておこう。予備知識が必要だからである。すでに上巻で触れていることなので、より詳しくは再読していただきたい。

不純物を可能なかぎり駆逐した超高純度シリコンは、電気的には不導体に近い。しかも、その電気的性質は「電子」の多いN型でもなく、「正孔」の多いP型でもなく、中性である。これを「真性半導体」と言うのだそうである。この真性半導体に伝導物質を添加してやると、半導体の性質が変化する。N型伝導物質を添加してやればN型に変わるし、P型伝導物質を加えればP型の性質を持つようになり、加える量によって伝導度が変わる。多く加えれば電気が伝わりやすくなり、少なければ電気が通りにくい。これを「不純物半導体」と呼ぶのだそうである。

この本ではわざと伝導物質と言いつのっているが、専門家はここでいう伝導物質のことを不純物といい、それを加えることを「不純物の添加」とか「ドーピング」と言っている。加えられる側のシリコンが超高純度だから、その純度に比べて伝導物質が不純物だと言うのであって、伝導物質もまた超高純度に精製された物質でなければならないのは当然である。ちなみに、N型伝導物質としてはリンやアンチモンやヒ素などがあり、P型伝導物質としてはガリウムやボロンやアルミニウムやインジウムなどが挙げられる。だから、真性半導体にリンを添加してやればN型半導体、ガリウムを添加すれ

ばP型半導体になるのだが、伝導物質の添加量は半導体全重量の〇・一パーセント以下という微量である。

さて、半導体素子をつくるという仕事は、簡単に言うと、半導体チップのある部分をN型に変え、ある部分をP型に変えることである。たとえば、合金型トランジスタのつくり方について触れてみる。まず、母材としての半導体基板は、単結晶をつくるときにあらかじめN型伝導物質を溶かし込んであるからN型である。このN型結晶を薄くスライスして小片にし、その両面にP型伝導物質の合金をつくってやれば、これがトランジスタになる。一枚の半導体にPNPの三層が一体構造でつくり込まれているからである。あるいは、後に詳述する「二重拡散」によるメサ型と言われるシリコントランジスタは、たとえば母材としての基板にはN型物質を溶かし込んでN型半導体にしておき、その表面をまずP型に変え、さらにその表面をN型に変えてやれば、基板は下からNPNの三層構造になる。このように結晶表面を自由自在にPN両タイプに変える方法、これが「ガス拡散法」であった。

すでに上巻第1章でも見たように、現代の超LSI製造の方法は、まず超高純度に精製したシリコン単結晶を薄くスライスする。次に、その表面を二酸化シリコンの絶縁皮膜で覆って感光剤を塗り、写真エッチングで必要部分の酸化膜を除去して窓を開ける。続いて窓から必要な「電気の運び屋」を注入して、窓下部分の電気的性質を変えるのだが、この作業を何回も繰り返すことで、シリコン結晶の表層に必要な伝導度のP型領域やN型領域を自在につくり込んでいくのである。

問題はこの注入法である。注入などと書くと、まるで液体を注ぎ込むような印象を与えて誤解を招きやすいが、そうではない。方法は二つあって、一つが「ガス拡散法」で、もう一つが「イオン注入法」である。両方とも現代の半導体産業では重要な技術であり、工程の性質によって使い分けている。

「ガス拡散法」より先に「イオン注入法」について簡単に説明すると、それは伝導物質をイオン状態にして、巨大な加速装置で半導体表面から撃ち込む方法である。これが考案されたのは意外に古く、東北大学学長の西澤潤一博士が一九五〇年（昭和二五年）に、ウィリアム・ショックレー博士がその数年後に、日米で理論特許を出している。ただ巨大な電子装置が必要だったので、実際に実用化されるのはずっとあとのことである。

問題の「ガス拡散法」は、単純な言い方をすれば、炉の中に必要な伝導物質をガス状にして流しておき、その中で半導体を高温加熱するのである。この炉を拡散炉といい、カール・フロッシュとリンカーン・デリックが酸化膜を偶然に発見したのも、拡散炉を使ってシリコントランジスタを試作している最中であった。

現代の半導体工場でも、多くの拡散炉が使われている。炉の中には窒素などの不活性ガスを流しておき、それにはガス状の伝導物質（専門家は不純物という）を微量混ぜてある。ここに超高純度シリコンを入れ、高温に加熱すると、シリコン表面から伝導物質が拡散浸透していき、表面層が伝導物質と同じ性質を帯びる。たとえばボロンのガスにさらすと、シリコン表面付近がP型に変わっていき、結果としてP型層ができる。同じようにシリコンをヒ素のガスにさらしながら熱すると、N型層になる。

重要な点はこのあとである。この段階で炉の中のガスを変えると、どうなるか。たとえば、ボロンガスを止めてガスをヒ素に変えて流すと、先にボロンの拡散浸透でできているP型層の表面から、ヒ素が拡散浸透してP型層の表層部分がN型に転化する。こうして、シリコンにはNPNの三層構造がつくり込まれることになる。これは、トランジスタの構造そのものである。こうして、拡散技術の登場で半導体技術者たちは、結晶の中に思い通りの領域を自由につくれるようになったのである。

領域の性質をP型にするかN型にするかという選択は、ガスの種類で決まった。その伝導度はガスの濃度で加減でき、その厚みはガスにさらす時間で正確に制御できた。結果としてガス操作をうまく設計することで、高性能なトランジスタを精密に大量に製造できるようになったのである。特にトランジスタ三層構造の中間層をミクロンのレベルまで制御できるようになったことは、高周波トランジスタの量産につながった。ガス拡散という技術が、いかにその後の半導体技術の発達に必要不可欠だったかを述べたいあまり、少し説明がくどくなりすぎた。この辺で旅に出ることにしよう。

八八歳を迎えた老博士

フロリダ半島の東側、大西洋岸に面した海岸には、多くのリゾート施設や別荘が並んでいる。オーランド空港から高速五二八号線に乗って約六〇キロ東に走ると、インターステイツ・フリーウェイ九五号線に出る。五二八号線から九五号線に乗り換えて、海岸沿いにマイアミ方向に南下する。車窓の風景は、次第に熱帯の風情を帯びてくる。椰子の木立が増え、空気がじっとりと重くなる。

晴れていた空が突然にわかに曇って、激しい雨がフロントガラスを叩きつけた。雨はパチンコ玉ほどの雹(ひょう)に変わり、パンパンと音を立てて車を打った。追突が怖いので停車することなくひた走った。間もなく滝のような雨がパタリとやんだ。シャワーのコックを閉めたかのように雨は突然あがり、車は青空の下に出た。私たちの車は、亜熱帯地方特有のスコールを走り抜けていた。

オーランド空港から一五〇キロ走って、ベロビーチの町に入った。町はずれに建つ、リゾートホテルのような大きく瀟洒(しょうしゃ)な建物。道路際の看板には「インディアン・リバー・ステイツ」。そこから長い

アプローチが色とりどりのお花畑に縁どりされて玄関の車寄せまで続いていた。赤い屋根の二階建てが広い芝生の中を回廊のように長く連なっている。それが「ガス拡散法」の発見者、カルビン・フラー博士夫妻の住む老人ホームであった。

夫妻は、私たちの到着を今か今かと待っておられたようである。私たちが車をどこに駐車させようかと迷っていると、すかさず玄関の扉が開いて、フラー博士が飛び出してきた。博士の案内で、長い廊下を渡って夫妻の部屋に撮影機材を運びこんだ。部屋は寝室が二つに居間と台所と広いベランダ。なぜか二つのバスルーム。施設全体には食堂、交際室、図書室、病院、水泳プールと室内運動場がついており、病気のときは完全看護。現在の入所者五〇〇人。入所費用は現在一一万五〇〇〇ドル。夫妻が四年前に入所したときは、九万五〇〇〇ドルだったそうである。一か月の維持費は平均一二〇〇ドル。夫妻は豊かな老後をゆうゆうと生きていた。

私たちが部屋に落ち着くなり、夫人が胸元から金色に輝く大きなメダルを取り出した。すべてはこれを見てもらってからのこと、といった雰囲気が夫人の表情からありありと読み取れた。「すごい金メダルですね」と水を向けると、待ってましたとばかりに話し始めた。

夫人　この金メダルは、一九八一年に夫のカルビン・フラーがドイツから贈られたメダルです。ここに何て書いてあるか、読んでみましょうか。裏から行きますと、「カルビン・S・フラーに贈呈する。一九八一年」。表にはドイツ語で「アルフレッド・クルッペン・ボーレンホン・ホブバッハ。エネルギーに貢献したことに対する賞」と書いてありますね。

――すごいですね。

夫人　ええ、私たちはこれを受け取りにドイツまで旅をしましたの。約一週間ほどあちらで過ご

しましたが、それは大変すばらしい待遇を受けました。ホテルも本当にかわいらしいスイート付き部屋で、何と各部屋にテレビがついていましたのよ。毎日豪華なパーティーを催してくださいまして、この金メダルを戴いたわけです。その年は特に五人の科学者がこのメダルを受けたんですが、みんな太陽エネルギーの研究をした科学者たちばかりでした。アメリカからは三人の学者が招かれたんですけれど、三人とも太陽電池の専門家でした。

——ほう。

夫人　あなた、このすばらしい賞と賞金は、もちろん免税ですのよ。これはクルップ基金と言いまして、当時はもうクルップのご家族というのが死に絶えて、城だけが残っていましたが、なんとあなた、私たちはそのクルップ家のお城の中でランチを呼ばれたんですの。本当にびっくりしたんですが、なにしろナイフもフォークもスプーンもすべて金でしたの。メニューも、今まで食べたこともないような、トリュフというごちそうが入っていました。トリュフというのは何かご存じかしら。トリュフというのを召し上がったことあります？

——と、とんでもない。

夫人　私にとってても初めての体験でしたわ。書物で読んだことはありましたけれども、実際に食べたことはなかったんです。毎日豪華なパーティーが続き、さまざまな催し物で本当に楽しいときを過ごしました。私たちには案内人がついて、リムジンであちこちをドライブしました。しかもあなた、費用はすべて先方が払ってくださったわけですから、それは本当にすばらしい体験でした。それに、このメダルは純金ですのよ。当時は金は一オンス七〇〇ドルもしていたんですから、これだけで大変な金額だったわけですの。ですから私は、

フラー夫人は誇らしげに金メダルを胸元から取り出した

しっかりと布でグルグル巻きにして小さなケースに入れ、胸元から服の中に入れて、しっかりと服にピンで止めまして、その上を手で押さえながら家まで持って帰って来たんです。アメリカに戻ってまいりまして、マイアミの空港に着くとすぐタクシーを拾って、一五〇マイルも走って帰宅しました。それで、家に着くとすぐ金メダルを銀行の貸し金庫に預けまして、ようやくホッとしたわけです。

——それを、今日はわざわざ銀行からお出しになったんですか。

夫人　そうですとも。一昨日私はその銀行の貸し金庫に行って、わざわざこれを取り出してきたんですの。でも私は、彼にはそれを取りに行ったとは言わなかったんです。なぜかというと、彼はたいへん恥ずかしがり屋で、たぶん私がそんなことを言ったら、「そんなものを取りに行くんじ

やない」と言うに決まっていますからね。でも私は、きっとあなたたちがこれを見たらびっくりするに違いないと思いましてね。ぜひお目にかけたいと思ったんです。だって、すばらしい金メダルでしょう。これ、本当の金でとてもかわいらしいんですもの、オホホホ。

びっくりなさいました?

――ええ、それはもう。

夫人　ああよかった。

カルビン・フラー博士はベル研究所一筋に働いたが、それは勤続三七年の長きにわたった。私たちがお邪魔したとき、博士は八八歳の誕生日を迎えたばかりであった。夫妻の部屋のドアには、友人たちから贈られた誕生祝いの花輪が飾られていた。

太陽電池の実物で実演

博士は少年時代から非常に好奇心の強い子供だったという。時計を分解したり、化学の実験やアマチュア無線に熱中した。やがてシカゴ大学に進み、奨学金をもらって物理学を専攻した。学費が足りなくて、シカゴ・トリビューン紙の凸版工になって学費を稼いだという。授業が夜あるときは昼間働き、昼間授業があるときには凸版工の仕事を夜にこなした。こうして働きながら博士号を取り、一九三〇年にベル研究所の研究員として採用された。彼がベル研究所で最初に携わったのは、電線の絶縁性を高めるための基礎的な研究であった。特にポリマーの研究では大きな業績を上げた。電線の被覆にプラスチックを使うのは現在では当たり前のことになっているが、当時としては革新的な研究であ

った。プラスチックの利用技術は、電気通信の分野のみならず広く生活全般を大きく変えていくが、そのきっかけをつくったのはフラー博士たちの研究であったという。

この仕事の次にフラー博士が着手したのは、太陽電池の研究であった。ベル研究所は通信衛星の時代が来ることを予測し、宇宙における電源についての研究開発を急がせたのである。こうして、ジェラルド・ピアソン、ダリル・シャピン、カルビン・フラーの三人が太陽電池の開発に従事し、一九五四年に太陽電池の実物をつくりだした。この太陽電池を開発する途中で、フラー博士たちが行ったさまざまな試行錯誤の一つが、ガス拡散という方法であった。だから、ガス拡散法の誕生は、太陽電池の研究と不可分につながっていたのである。

フラー　これは、私たちが一九五三年に太陽電池をテストしているときのニュース写真です。ダリル・シャピン氏、ジェラルド・ピアソンさん、そして私です。私たちの所属する研究室はそれぞれ別でしたが、三人とも同じ太陽電池の研究をしていました。

——それはいつのことですか。

フラー　一九五三年、当時五四歳でした。

——実物をお持ちですか。

フラー　もちろんです。これは一九五三年に私と助手でつくった太陽電池です。これからお見せするのは、光を電気に変換するテストです。太陽電池からは二本の線が出ていて、それは電流計につないであります。そこで、太陽電池をスタンドの光に近づけてみましょう。ほれ、メーターの針が上がるでしょう。

——ああ、本当だ。

フラー　ほれ、すごいでしょう。八〇ミリアンペアは出ていますね。遠ざければメーターの針は下がる。近づけると、上がる。つまり、このセルが電灯の光を受けて、発電しているわけですね。

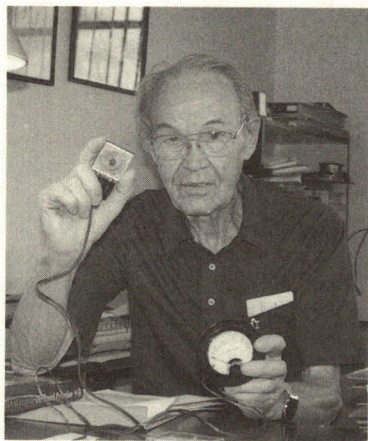
――どの程度の効率まで行ったんですか。

フラー　最初は変換効率が一パーセントという小さなものでした。やがて四か月から五か月後には、ジェラルド・ピアソン氏が八パーセントの成果を上げました。次にジョージア州で電話電源を遠隔操作でコントロールするシステムを開発するということでつくった太陽電池は、変換効率一一パーセントにもなりました。その頃になって、政府が私たちの研究に介入して、国家プロジェクトの性格を帯びるようになりました。

――国家的プロジェクトというのは。

フラー　人工衛星用の電源として、本格的に太陽電池を開発することになったのです。この写真（三三ページ参照）は世界で最初の通信衛星テルスターですが、この費用はＡＴ＆Ｔが全額負担しました。それが衛星通信の実現に大変役立ちましたが、それを可能にしたのが太陽電池でした。このパネルは全部ソーラーセルなんですね。三六〇〇個の太陽電池で一三・五ワットの電力を得ることができました。これがすばらしい能力を発揮したのです。

このときのテルスターは、先にアーリー博士が証言したように、大気圏の核爆発によって放射線を浴び、やがて動作をしなくなるのだが、太陽電池は宇宙空間の電源として充分に使えることが実証され、このとき以後今日に至るまで、太陽電池の変換効率を上げるために大きな努力が払われてきた。

フラー　テルスターに搭載した電池の変換効率は一五パーセントまで高めてありました。現在で

35年前に試作した太陽電池を動かすフラー氏

左からシャピン、ピアソン、フラーの各氏。
３人は翌1954年に太陽電池の開発に成功した

も人工衛星に搭載する太陽電池は、平均一二～一五パーセントじゃないでしょうか。

――なるほど。

フラー　その後、太陽電池の研究は変換効率を上昇させることと、製造コストを下げることに努力を集中しました。コスト面ではアモルファス（非結晶）・シリコンを使う方法が開発されました。現在、人工衛星に使われている特殊仕様の太陽電池で、変換効率は一五～一六パーセント、限界が一七パーセントといったところでしょうか。われわれは理論的な限界として、上限二二パーセントくらいではないかと考えています。その場合、使う光の波長に合わせて太陽電池の構造を工夫したり、あるいはレンズで光を集めるといった工夫が必要になる

でしょう。集光レンズを使えば、変換効率二五パーセントも夢ではありません。そうなれば、シリコンセルの値段を下げる努力とあいまって、石炭エネルギーとは充分競争できるようになると思います。

フラー博士が熱心に実演してくれた太陽電池の実物は、直径三センチほどの黒いシリコン円板にすぎなかったが、シリコンセルから出ている二本の電線を電流計につないで電灯に近づけると、電流計の針が大きく振れた。円板を電灯から遠ざけると、針は元に戻ってゼロになった。三五年も前の試作品が、今でもスタンドの光に当てれば電気を起こすのだと、博士は少年のように得意げであった。

あらゆる物質の拡散を試みた

奥さんの話では、私たちが日本からわざわざやって来るというので、博士が納戸をかき回して、やっとのことで探し出した品々であった。奥さんは銀行に飛んで、貸し金庫から金メダルを取り出し、博士は納戸に閉じこもる。私たちの訪問は、夫妻にとってはいつもと違う一週間だったようである。太陽電池の実演が終わって、ようやくガス拡散の話が始まった。

フラー　私たちがガス拡散という方法を最終的に確認したのは、一九五二年のことでした。不純物（伝導物質）をガス状にして炉に流すと、それがシリコン表面から内部に拡散していくかどうかを調べたのです。N型不純物とP型不純物の両方について調べました。高熱炉の中に石英管を通し、その中に窒素ガスを流しました。入口からシリコンウエハーを送り込み、密閉して次第に温度を摂氏一〇〇〇度に上げました。この段階まできたところで、窒素ガ

スの中にほんの少しのP型不純物（たとえばボロンの塩化物など）、あるいはN型不純物（リンの塩化物など）をガス状にして添加するのです。すると、不純物の原子がシリコン結晶の表面を撃ち、やがて表面から内部に向かって、あらゆる方向へ拡散浸透していったのです。すると、P型不純物の拡散したところはP型シリコンの層に変わり、N型不純物の拡散したところはN型シリコンの層ができました。PN両層が隣合っていると、それがPN接合になりました。これがガス拡散法だったのです。

――ガス拡散の方法に到達するまでに、どのような経緯をたどったのですか。

フラー　一九四八年、親友のウォルター・ブラッテンたちが点接触型トランジスタを発明しましたが、そのあとショックレーが接合トランジスタを発明しますね。PN接合の理論を考案したショックレーの功績はすばらしいものでした。しかし、一つの結晶内部にPN接合をつくることは、なかなか実現しませんでした。方法がわからなくて、暗中模索が続いたのです。やがて、PN接合を結晶内部につくる方法として「拡散」という物理現象が注目されるようになりました。だから、当時は拡散現象を研究することがもっとも先端的なテーマで、私もその原理や方法に大変興味を持ちました。

――では、拡散現象の発見は何がきっかけだったのでしょうか。

フラー　あれは冶金課のジャック・スカッフたちがサーマル・コンバージョン、つまり熱変換と呼ばれる現象に遭遇したのがきっかけでした。

――それは。

フラー　ゲルマニウム結晶に摂氏五〇〇度以上の熱を加えると、結晶表面の電気的性質が変わっ

てしまう現象でした。たとえば、N型ゲルマニウムに五〇〇度以上の熱を加えると、その表面がP型に変化したのです。なぜこのようなことが起こるのかについては、多くの人がいろんな仮説を立てましたが、実際は何が起きているのか解明した人は一人もいませんでした。そこで、私はサーマル・コンバージョンに興味を持ち、この解明に取り組むようになったのです。

——なるほど。

フラー　しかも、たとえばN型の結晶を熱すると、その表面がP型に転化し、表層付近にPN接合ができたのです。この接合面が非常に速いスピードで表面から中へと深く入っていきました。原因をいろいろと考えた末に、これは結晶表面から何かが入り込んでいるのではないかと考えました。そうした仮説に基づいて研究を重ねた結果、そのとき結晶表面から入り込んでいるのは銅だということを突きとめました。

——銅が一体どこから出てきたのでしょうか。

フラー　銅が発生する唯一の可能性が水でした。私たちは結晶を洗うために大量の水を使っていましたから、水が一番怪しいとにらんだのです。水の中に含まれる銅イオンがゲルマニウム結晶に付着し、それがそのまま高熱炉に入ると、銅イオンがゲルマニウム表面から内部に入って行くのではないかと疑ったわけです。

——今の言葉で言えば、銅が拡散したというわけですね。

フラー　そうなんです。そこで放射性同位元素を使ったラジオトレーサーで追跡すると、やはり水には銅イオンが含まれていて、それが大変な速さでゲルマニウムの表面から中に入って

いく、つまり拡散していることがわかったのです。

――なーるほど。拡散現象の発見ですね。

フラー　そうです。しかし、まだ結論を出すのは早すぎると思い、拡散したのは本当に銅だけだろうか、別の物質がなかったのだろうか、もっと完璧に突きとめてみる必要があると考えたのです。これが、私が本格的に拡散の研究に入っていく動機でした。そして、あらゆる物質を拡散させてみる実験を繰り返したのです。

――なるほど。

フラー　やがて、拡散という方法を積極的に使うことで、思い通りのPN接合が自由にできることに気がつきました。たとえばN型不純物にリンを使い、P型不純物にボロンを使うとしましょう。具体的にはリンを溶かし込んだゲルマニウムをボロンのガスが流れている高熱炉に入れるんですが、そうすると結晶表面にP型層ができる。その下はN型ですから、結果としてゲルマニウムの表面にPN接合ができるというわけです。

――なるほど。

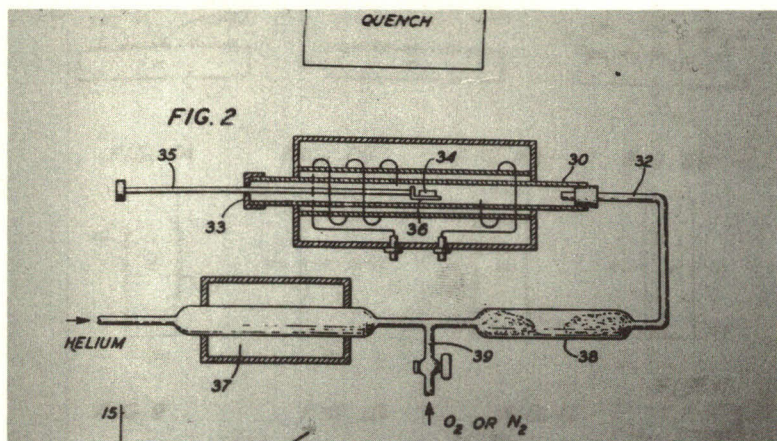
フラー　ところが、リンとボロンの場合は銅の場合に比べて拡散が非常に困難で、速度も遅いのです。銅に比べてリンやボロンなどは、非常な高熱で熱しないと拡散しないのです。しかも、その拡散速度は非常に遅いのです。その代わり一度接合ができてしまうと、室温にまで冷やしたあとは非常に安定した状態になり、長い間「接合」が持続したのです。強烈な太陽光にさらしても結晶は損傷を受けることなく、「接合」の特性が半永久的に持続しました。これで、太陽電池は非常に優れたものになりました。

――なるほど。

上巻の八〇ページを再読していただけるとわかることだが、一九四〇年にラッセル・オールが発見したシリコンによる光起電力効果は、半導体技術上の重要な発見であった。シリコンに光が当たると、結晶の両端から電流が取り出せたのである。続いて冶金専門家のジャック・スカッフが、電気を発生したシリコン結晶は、中心部を境に電気的性質が異なっていることを突きとめた。シリコンの半分がP型で、あとの半分がN型になっていた。つまり、PN接合ができていたのである。逆に言えば、PN接合ができているシリコンに光を当てれば電気が発生するわけだから、この原理を応用して宇宙空間の電源にしようとしたのが、太陽電池計画であった。しかし、それはこの発見から一四年も後のことで、光起電現象の研究が半導体技術に果たした功績は別のところにあった。結晶に伝導物質(不純物)を添加することで半導体を制御していく基本技術は、この研究から生まれたのである。

脚光をあびたのは太陽電池

博士は突然思い出したように、ベッドのそばの書棚を探し始めた。きちんと製本された論文や書類のファイルやアルバムを次々とめくっては、何か探し出そうとしている様子であった。やがて博士が声を上げた。

フラー　あっ、ありました。やっとガス拡散法が載っている特許が見つかりました。これがガス拡散炉の写真です。これが拡散炉でして、その中を石英管が通っていまして、中にガスが送り込まれます。不活性ガスに不純物をガスにして混ぜてあるのです。

ガス拡散法がその中に記載されている太陽電池の特許（1956年）

――それはガス拡散法に関しての論文ですか。

フラー　いえ、ガス拡散法だけについての特別な技術論文というのはないんです。というのは、ガス拡散はそれが目的だったのではなく、効率のよい太陽電池をつくるための手段の一つにすぎなかったからです。どのような物質の組み合わせで、どのような接合をつくれば効率のいい太陽電池になるか、それを見つけ出すのが私たちの最終目標でした。だから、ガス拡散法の特許も太陽電池製造法の一部として申請したのです。

フラー博士の書斎机は、ベッドの脇に置かれていた。疲れるとすぐ横になり、疲れが取れると再び机に向かって読書をしたり、昔の論文に目を通したり、なるべく頭と体をバランスよく使うように心がけているということであった。分厚い綴じ込みが二冊、博士の机に開かれていた。

――この論文集には幾つの論文が綴じこまれ

結婚58年のおしどり夫婦

ているのですか?

フラー　だいたい八五編だと思います。他人の研究でも私が関係したものは、すべて集めてあるわけです。したがって、私自身の書いた論文もあれば、他の人が書いたものもありますが、そのうち半導体のパテントについては約五〇件くらいですね。

――フラーさんご自身の論文は。

フラー　わかりません。数えたことがありませんから。二〇編くらいでしょうか。

――では、そのなかでガス拡散についての論文は幾つあるのでしょうか。

フラー　わかりません。というより、ほとんどがガス拡散に関係していますから、全部とも言えるかもしれません。

――なるほど。

フラー　私が力を入れて研究したのは、いわゆる拡散係数と呼ばれるものでして、不純物（伝導物質）の原子が結晶の中に入って

いく速度を測定するのが私の仕事でした。この係数は一〇のマイナス九乗とか、一〇乗といった指数で表しますが、それは拡散のスピードを意味しますから、単位時間当たりに進行する拡散の距離、つまり拡散層の厚みを表しているのです。それは実にゆっくりとしたスピードなのです。

――なるほど。

フラー　このように私の研究は、さまざまな物質について温度と拡散速度の相関データを取るといった極めて基礎的な研究でした。しかし、これが産業的には大変貴重な情報になりました。だから、世界中から多くの技術者が私を訪ねて来まして、私たちのデータを入手して帰りました。みんな大変感激しておりました。日本からもこの分野で大変苦労されていた方々が何人も見えまして、懇願されましたので、私は各種物質の拡散についての資料をあげました。

――それはどなたでしたか。

フラー　いいや、今となっては、どなただったかよく覚えていません。ただ、彼らは各種物質の拡散速度の温度係数を知ることによってプロセスを確実に制御でき、ひいては生産歩留まりが上がり、それが莫大な利益につながったことは確実です。自らは研究することなく、私たちが得た結果だけで、敏速に自分のプロセスを精密に思い通りにコントロールできたわけです。どんな物質がより適しているのか、あるいはこの物質を使うとすればどれくらいの時間、何度の熱を加えたらいいのかなど、労せずして知ることができたわけですから。

当時、薄いシリコン片が太陽の光を電気に変えて発電するというニュースは、トランジスタの発明

よりもはるかにマスコミの興味を引いたようである。専門家の間では大きな衝撃を与えたものの、トランジスタの発明が一般ジャーナリズムの関心をほとんど引かなかったことに比べ、太陽電池の発明は世間に激しい興奮を巻き起こした。

フラー　トランジスタが発明されたときは、そりゃあみんな、大変興奮しましたよ。ところが、皆さんには信じられないでしょうが、世間では、ソーラーセル（太陽電池）の発明のほうがトランジスタ以上に騒がれたのです。マスコミも大挙してソーラーセルに群がりました。そのため、トランジスタという世紀の大発明が、すっかりかすんでしまった感じがありました。やがて太陽電池騒動が収まったあと、トランジスタは再び自分の地位を取り戻しました。もちろん、トランジスタは本当にすばらしい発見でしたからね。

――ところで話が変わりますが、一九四七年の一二月二三日に行われた、トランジスタの極秘公開はご覧になりましたか。

フラー　いいえ、その頃には半導体の世界にはおりませんでしたから。ただ、当時即座にトランジスタ会議というのが設置されまして、多分六回目の会議には私も出席しまして、トランジスタの応用と問題点について議論をしました。そのときは多くの人が集まって、ショックレー氏を中心に、トランジスタがこれから遭遇するであろうあらゆる問題について討論しました。

フラー夫人とブラッテン博士

ここで夫人が話に割って入った。編み物をしながら、博士と私たちの間でかわされる会話に耳を澄ましていたようである。夫人が隣の居間から大きな声でしゃべり出した。

夫人　一九四七年のトランジスタの発明については、私大変よく覚えていますの。その日、主人は帰ってくるなり、「いいかい、これから言うことはだれにも言ってはいけないよ。君の友達にも、それからお隣の人にも言ってはいけないよ。明日、大きな記者会見を開いて、そこでこの大きな発見について発表することになっているんだよ。発見者のうちの一人が友人のウォルター・ブラッテンなんだ」と言いました。ブラッテンさんは、私たちの古くからの友人でしたの。

——ほう、どんなご関係ですか。

夫人　私たち夫婦はミネソタ出身でして、私はブラッテンさんの奥様とは学校時代のルームメイトでした。ですから、ブラッテン博士に奥様を紹介して差し上げたのは私でしたの。それで二人は結ばれたんですもの、それはご夫妻とは親しい間柄でした。

——なるほど、なるほど。そんなに親しい間柄で。

夫人　そうですとも。私は結婚前、アメリカン・インスティテュート・オブ・フィジックス社で編集の仕事をしていました。私はそこで雇われた最初の女性編集者でした。会社は『フィジカル・レビュー』ですとか、『レビューズ・オブ・モダン・フィジックス』、『フィジック

ス・トゥデイ』というようなものを出版していました。

――学術誌の女性編集者ですね。

夫人　そう。ちょうどその頃、ウォルターがミネソタ大学で博士号を取ろうとしていました。それで仕事柄、私は彼と知り合うことになりましたの。当時私の周りには、二五人から三〇人くらいの男の方がいましたが、みんな独身でした。ベル研究所ですとか、プリンストン大学の優れた研究者たちでしたが、その中の一人がウォルター・ブラッテンさんだったのです。

――なるほど、なるほど。

夫人　私たちはニューヨークに来たばかりでしたので親しくなり、大学時代のルームメイトなど何人かの友人とともに彼のアパートに押しかけて、何度もパーティーを開きました。みんなミネソタから来た人ばかりでしたので気が合って、いつも楽しいパーティーになりました。これが縁になって、ウォルターと奥様は結婚なさったのですもの。つまり、私がお二人の縁結びをしたというわけですわ。

――ブラッテン博士がノーベル賞を受賞したときの様子はいかがでしたか。

夫人　ウォルターと私は、子供の学校の理事会の役員でしたの。毎週火曜の夜に定例の会議がありまして、その日もウォルターが来る予定になっていましたの。朝突然電話があって、ノーベル賞を受賞したというじゃありませんか。もう、びっくりしました。そのときはもうバーディーンさんはイリノイへ、ショックレーさんもお辞めになっていて、ベル研究所にいらっしゃったのはウォルターだけでした。その夜の会合でウォルターにお祝いを言おう

と、みんなでお待ちしていたのですが、ウォルターは酔っぱらっておいでになりました。当時は実験室でアルコール類を飲むのは禁じられていたんですけど、ノーベル賞というのは毎日もらえるものではありませんので、その日は昼からみんなでお酒を飲んだそうです。ふだんはとても頭のいい方なんですけれども、その夜だけは行儀がよかったとは言えませんでした。理事会に来て三〇分もすると、彼は家に帰ると言い出しました。今夜は家で奥様とゆっくり過ごしたいとおっしゃいましてね。その後、ご夫妻はノーベル賞の授賞式にご出席なさるためにいろいろな準備をされたんですが、私はスーツケースをお貸しして、洋服はニューヨークで新調されました。奥様は小柄な方で、ご自分も博士号を持っていらっしゃるほどの科学者でしたから、服装にはあまり関心がありませんでしたが、ノーベル賞だけは別でした。お二人とも本当に感激していましたもの。

――それはそうでしょうね。

夫人　ウォルターはとても謙虚な方で、いつも「自分はそんなものに値しないんだ」と言っていました。それを手伝ってくれた人たちのおかげなんだとね。ただ心の底では、彼はきっと誇りに満ちていたに違いありません。

――それはノーベル賞がもらえるんですものね。

夫人　ええ。それに、ウォルターはお父様が宣教師でしたので、中国で生まれました。アメリカに帰ってきてからも、お家はけっして裕福ではありませんでした。彼は大変貧しい少年時代を送ったそうです。初めてワシントンに来たときには、電車賃すら持っていなかったんですって。思春期の彼は羊飼いの牧童として、はるばるシアトルからミネアポリスまで羊

を追って旅をしたそうです。旅のあとは本当に汚くて、体からひどい臭いが取れなかったと、ウォルターが何度も言っていましたわ。

このブラッテン博士のハゲ頭をあの長船廣衛さんが感動のあまり写真に撮るのだが、さまざまなエピソードが織りなす人生模様の綾に、私たちは不思議な感動を覚えたものである。

またフラー夫人の話も、ガス拡散には関係がないと思いながら、絶頂期のアメリカの知識人たちの生活や表情が生き生きと語られていて、捨てきれない話の一つであった。上巻第3章で、石炭廃液からゲルマニウムを回収した稲垣勝さんと夫人を、つい思い出してしまうのであった。

夫人　ノーベル賞をもらったトランジスタでしたのに、最初に発明が公開されたときには、『ニューヨーク・タイムズ』には小さくしか載らなかったのです。ですから、ベル研究所の実験室ではがっかりしていたそうですの。

――へえ。

夫人　ところがあなた、主人が一九五三年に太陽電池を発明したときには、新聞が大騒ぎしましたの。発表のあと私たち夫婦はすぐに休暇をとってドライブに出たんですが、二週間フロリダで過ごしたあと自宅に帰ってみると、郵便受けには山のような称賛の手紙が全国から届いていました。ですから、トランジスタのときとはうって変わって新聞がものすごく書きたてたんですの。それなのに、主人が言いますのには、トランジスタのほうが太陽電池よりずっと重要な発明なんですって、本当にそうかしら。

――でも、博士だって金メダルをもらいましたからね。

夫人　そうですとも。ですから、私たちはそれは幸せな人生でしたのよ。

――ほう。

夫人　私がカルビンに会ったのは、ニューヨークに来て一週間経った頃でした。それは一九三二年、五八年前の四月のことでした。会ってから結婚するまでは長くありませんでした。私たちは九月に結婚したわけですから。この九月で結婚五八年になります。最初はニュージャージーに家を建てて住みました。そこに三〇年住んで、三人の息子たちを育てました。

フラー　ベル研という最高の環境で三七年間も働くことができ、妻にも恵まれ、三人の息子も立派な社会人になりました。現在では沢山の孫に囲まれております。もう孫が八人になりました。本当に幸せな人生でした。

夫人　ここはとっても楽しいことばかりなんです。今、ここには五〇〇人くらいの友達がいますが、皆さん、それは楽しい方々ばかりですの。毎日違う人たちと夕食を共にして、いろんなことを話し合うのです。私はこの中で月一回発行している小さな新聞を編集しているんです。一六ページで結構大変な仕事なんですが、昔とった杵柄ですから、私も熱が入りますのよ。

――そうですか。

夫人　一〇日後には二人で車で旅行をしようと考えているんですのよ。私の弟がちょうど結婚五〇周年を迎えるので、お祝いにカリフォルニアまで車を飛ばそうと計画しているんです。大きなトレーラーのキャンピングカーを主人が運転して、途中を楽しみながらゆっくりと行ってこようと計画してますの。私たちの子供たち、孫たちも全部そこに集まりますので、多分すごく大きなパーティーになるんじゃないかしら。

――ご主人のお年はお幾つでしたっけ。

夫人　八八歳ですの。

――老いてますます。本当にうらやましいことですね。

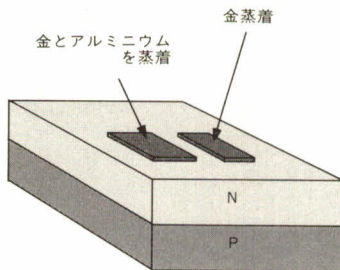
第3章 テレビが時代の幕を切った

成長型、合金型の限界を突破

酸化膜とガス拡散、この二つの技術が登場することで、シリコンを使った接合トランジスタが大きく前進する。ゲルマニウムを使った成長（グロウン）型トランジスタや合金（アロイ）型トランジスタは、性能と生産歩留まりの劣悪さに長く悩んだ。合金型の高周波特性は、ドリフト型などの改良技術が登場して大幅に改善されてはいたが、同じものを正確に大量につくるという生産技術の点では、多くの問題をかかえていた。それは、この巻の第1章で多くの皆さんが語っていた通りである。酸化膜とガス拡散の両技術を駆使することで初めて、シリコンを材料にして、高周波特性が格段に優れ、量産向きの接合トランジスタをつくることが可能になったのである。これが二重拡散によるシリコントランジスタであった。カルビン・フラー博士たちが太陽電池の開発途上で行った数々の試みの一つが、ガス拡散の方法であった。シリコン結晶を、ガス化した伝導物質に触れさせながら炉の中で加熱すると、結晶表面から伝導物質が拡散浸透して、結晶は電気的な性質を変えていく。たとえば、ヒ素のガスを使えば結晶はN型シリコンに、ボロンガスならばP型シリコンになる。

では、この操作を重ねたらどうなるか。ヒ素を使う最初の操作で結晶表面をN型にしたあと、今度は炉の中のガスをボロンに変えて加熱する。すると、N型層の表層部分がP型に転化し、N型層の上にP型層ができたことになる。これすなわち、PN両領域が隣接した状態のPN接合である。このPN両層の双方に電線をつないだものがダイオード（整流素子）であり、太陽電池でもある。交流電圧をこの素子につなげば、交流を直流に変える整流器になるし、結晶表面に光を当てれば、電気が発生す

る発電素子になる。それが、フラー博士たちが取り組んだ太陽電池であった。
さて、ここでシリコンを最初からN型にしておくことは可能である。単結晶にするときにN型の伝導物質を混ぜておけば、単結晶全体がN型シリコンになる。これをスライスしてつくった結晶板を拡散炉に入れ、P型物質をガスで拡散させればN型結晶の表層にP型層ができ、したがってガスの操作が一回だけで結晶にはPN接合ができる。この段階で拡散炉のガスをN型に変えると、P型層の表層がN型に変わり、シリコン結晶は下からNPNの三層構造になる。各層に電極をつければ、理屈上はこれがトランジスタである。
この方法は拡散作業を二重に繰り返すので、「二重拡散法」と呼ばれた。結晶炉に流すガスの種類を選ぶことで、結晶にPN両タイプの層を自在につくり込むことができ、その伝導度はガスの濃度で正確に制御できた。最も重要な点は、拡散時間を調節することで拡散層の厚さを精密にコントロールできたことである。長く拡散させれば層が厚くなり、時間を短縮すれば層が薄くなる。
トランジスタの高周波特性は、三層構造の中間層が薄いほどよくなるのだが、成長型や合金型など、従来のトランジスタでは製法上の限界があった。これを突破する方法が、二重拡散法であった。二重拡散法を使えば、中間層をミクロン幅にすることが可能になり、高周波特性を格段に向上させることができたのである。
ガス拡散を利用したトランジスタの試作は、最初ゲルマニウムで行われた。たとえば、PNP構造をガス拡散でつくる場合について概説する。図2Aのように P型ゲルマニウムの基板を用意し、図2BのようにN型拡散をして結晶をPN二層にしたあと、図2CのようにN型層の上にP型合金で合金接合をさせてPNPの三層構造にする。

図2　初期の拡散トランジスタ

ゲルマニウムを使い、ガス拡散法と合金接合法によってＰＮＰトランジスタをつくり、メサエッチングを行う

Ｐ型ゲルマニウム

A

電極

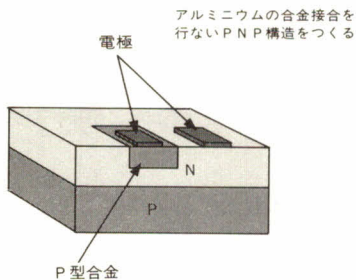
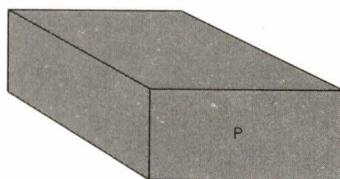
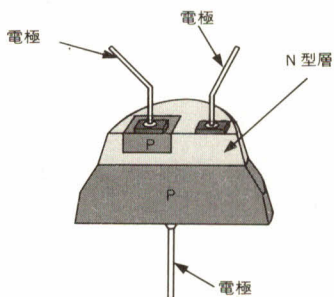
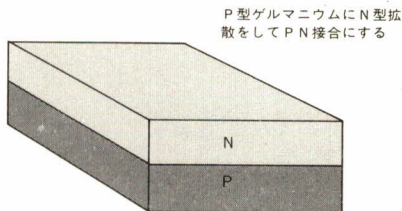
電極

Ｎ型層

P

P

電極

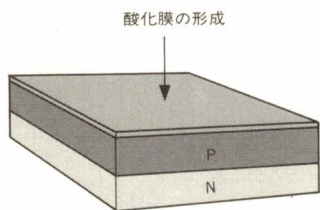
D

P型合金は、たとえば金とアルミニウムの合金を使うが、実際の製造工程では、ゲルマニウムをPN二層にしたあと、図2Cのようにその表面の二か所に金の薄膜を並べて真空蒸着し、その片方にはさらにアルミニウムの薄膜を真空蒸着する。この状態で炉に入れて加熱すると、アルミニウムの膜と金の膜は互いに溶け合った合金になり、やがてP型合金が結晶内部に浸透して、P型層ができる。完成時の断面構造が図2Dである。

こうしたゲルマニウムによるメサトランジスタを開発したのは、ベル研究所のチャールズ・A・リーであった。一九五六年のことである。

これは拡散作業が一回なので、「一重拡散によるトランジスタ」である。ゲルマニウムを使った場合、シリコンのように活性が激しくないので、ガス拡散が一度しかできなかったのである。これがシリコンを使うと、ガス拡散を二回行うことが可能であった。こうして「シリコン」「酸化膜」「二重拡散」と三つの要因が揃うことで、シリコンの二重拡散トランジスタが登場するのである。これをシリコンのメサトランジスタと呼んだ。

シリコン・メサトランジスタの製法

ゲルマニウムのメサトランジスタには、致命的な弱点があった。N型層が広くむき出しになることである。PN両層が隣接する接合部分に、空気中の水分や汚染物質が付着しやすくなり、したがってできたトランジスタが劣化しやすくなった。やがてシリコンが使えるようになり、酸化膜が発見され、二重拡散法が登場し、シリコンでメサトランジスタができるようになった。これで、拡散型トランジ

図3　シリコン・メサ
トランジスタの製法

ガス拡散と酸化膜形成・エッチングを繰り返して、NPNトランジスタをつくる

断面構造

F

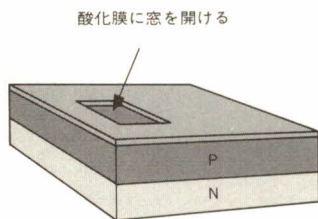
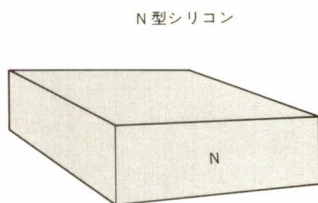
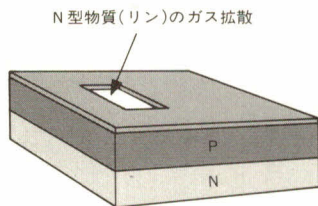
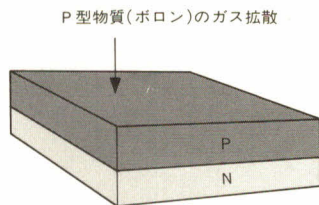
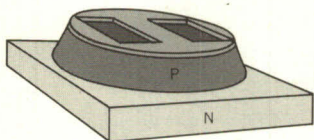
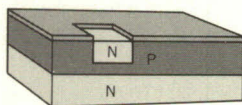
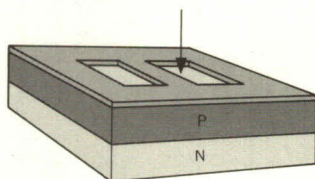
酸化膜に窓を開ける

G

金蒸着(電極)

H

周辺部の除去(エッチング)

I

周辺部をメサエッチングしたトランジスタの断面を見ると、ＮＰＮ構造とともに電極がつくり込まれている

断面構造

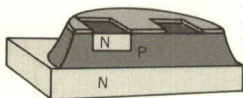
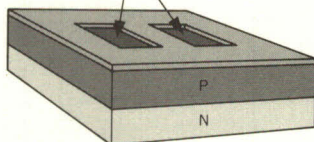
J

スタが急速に進化した。ゲルマニウムよりはるかに高性能で、汚染に強いトランジスタが生まれたのである。では、ここで典型的なシリコン・メサトランジスタの製法を図解してみよう。

図3AはN型シリコンの小片。これをボロンのガスが流れている拡散炉に入れて加熱すると、図3Bのように表面にP型層ができ、結晶はPN二層になる。

これに電極をつければダイオードとか太陽電池になるのだが、ここでは次の工程に進む。PN二層のシリコンを今度は酸化炉に入れて、図3Cのように結晶表面に酸化膜を形成させる。酸化炉の中には水蒸気が流れていて、結晶表面には丈夫な絶縁膜ができる。これはすでに述べてきたように、カール・フロッシュとリンカーン・デリックが発見した業績である。

この酸化膜表面に図3Dのような窓を開ける。この方法はやがて写真エッチングという方法が使われるようになるが、最初はワックスが使われた。窓を開けたい部分を残し、他の部分をワックスでカバーしてフッ酸液に漬ける。すると、窓部分の酸化膜が溶けて流れ、シリコンの生地が顔を出す。これを超純水で洗浄したあと再び拡散炉に入れ、今度はN型伝導物質のガスの中で加熱する。すると、窓からN型物質が拡散して、窓の部分はP型がN型に転化する。これが図3Eである。図3Dの窓の中が黒いのに、図3Eの窓は白くなっている。窓の中の電気的性質がP型からN型に転化したという表現である。実際には、けっして色が変わるわけではない。このときの状態を断面にしてみると、図3Fである。窓の下からNPNの三層構造になっている。まぎれもなく、これはトランジスタの構造である。問題は、ミクロン幅のP型層に電極をつけなければいけないことである。

そこで図3Gのように、酸化膜にもう一つの窓を開けると、P型層が顔を出す。こうなれば、P型層に線をつなぐことが可能になる。図3Hのように、二つの窓から金属の膜を真空蒸着させると、P

N各層が電極となる。
この状態で電極部分を囲む円形部分を残して、他の部分をフッ酸液で除去してしまう。これが図3Iのように、台地状断面をしたメサトランジスタであった。ちょうど西部劇に出て来る砂漠の台地に似ているので、スペイン語のメサ(台地の意味)がトランジスタの名前になった。その断面構造が図3Jである。これを台座に取り付け、トランジスタの電極と台座のピン(脚)を金線で結んでケースに密封すれば、商品として完成する。
こうした工程のなかで酸化膜に窓を開けたり、不要な部分を除去したりする作業が何度か必要になるが、これに最初はアピエゾン・ワックスが使われた。酸化膜の発見者リンカーン・デリックさんが、ご丁寧にもそのやり方を実演してみせてくれた。
デリック　いったんシリコンを酸化膜でカバーして、酸化膜に特定の窓を開け、そこから不純物を拡散させるという、マスキングの方法は私たちが考えました。
――現在のようなフォトエッチングですか。
デリック　いいえ、最初に私たちが使ったのは、アピエゾン・ワックスでした。ワックスを溶剤で溶いて液状にしてスプレー容器に入れ、小さな穴の開いた金属板をシリコン板に重ねて、その上から吹きつけました。
――へえ。
デリック　これが私の使った道具ですが、工芸家が使う小さなペンシル型スプレーです。これでワックスを吹きつけたあと、フッ酸で処理するのです。すると、ワックスがついてない部分の酸化膜がフッ酸に溶けて流れ、酸化膜が取り除かれるのです。

——あれっ、これがシリコン板ですか。

デリック　そうです。縦横三センチの正方形のシリコンウエハーです。この中に四八個のトランジスタを一度につくることができました。

——ああそうですか。一個一個つくったのではなくて、一枚のウエハーに沢山のトランジスタをつくったのですか。

デリック　そうです。そこが大事な点です。二重拡散法は、まことに量産向きの方法だったのです。治具と何枚かの金属マスクを正確につくりさえすれば、ウエハー上に数多くつくれる上に、繰り返し同じものを大量につくることができました。ワックスでマスクするというのは原始的な方法でしたが、それは明らかに現代につながる量産の第一歩でした。

——なるほど。

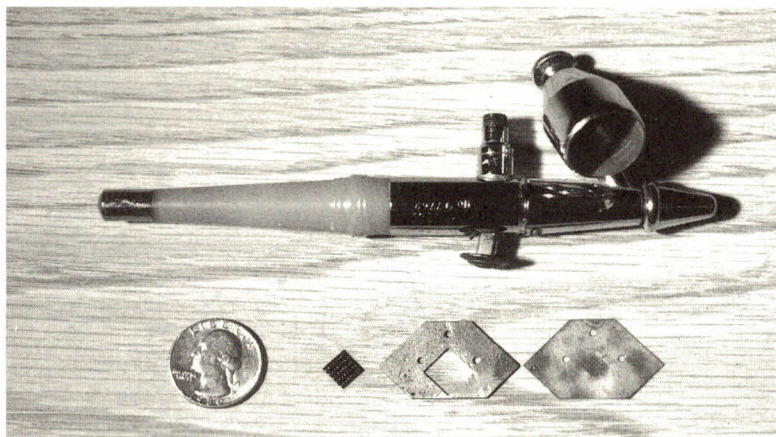
デリック　ウエハーに数多くのトランジスタを加工したあと、ダイヤモンドカッターでばらばらに切り分けると、四八個のトランジスタになったのです。切り分けたペレットの電極に電線をつなげば、これがトランジスタでした。当時はフォトレジストなどというものはありませんでしたが、このスプレー法でも、作業はかなりのスピードで進みました。だから、現在のように一枚のウエハーに三〇〇個も四〇〇個もつくるというわけにはいきませんでしたが、これは明らかに量産的な製造法の出発点でした。これが二重拡散法によるシリコン・メサでした。

——ところで、フォトレジストはだれが発明したのでしょうか。

デリック　よい質問ですね。ジュールス・アンドリュースです。これはベル研でも確認している

治具にウエハーとマスクを重ねてセットし、ペンシル型スプレーでワックスを吹きつける

ことなので、間違いありません。彼は非常に熱心なカメラマンでもありました。ベル研には写真機材の道具がすべて揃っていたのと、彼が腕ききのカメラマンだったのが幸いして、フォトレジストのプロセスをアンドリュースが最初に発見したのです。考えてみれば、写真に詳しければ微妙で不安定なワックスによるマスク作業を、純粋なフォトプロセスに置き換えてみようと考えるのは、それほど意外なことではありませんでした。

こうして、アメリカではシリコントランジスタが、着実に実用化していった。しかし、これが産業化して大量につくられるようになるには、それを志す冒険者が必要であった。それが、一九六〇年代の半導体技術をリードしたフェアチャイルド・セミコンダクタ社である。若者たちの若々しいエネルギーとあり余る野心が、フェアチャイルド社という会社を発足させ、それが核となって西海岸一帯の果樹園地帯

アピエゾン・ワックス吹きつけの道具一式。上がスプレー、下右から金属マスク、治具、シリコンウエハー。25セント貨は大きさを比較するため

を電子産業がひしめくシリコンバレーに変えていくのだが、彼らが最初に飛躍するきっかけになったのは、シリコン・メサトランジスタへの挑戦であった。彼らの人間臭い行動の数々は、次の章で詳しく触れることにして、ここではいったん日本に戻ってみることにしよう。

「シリコンをやりたい」と直訴した

日立超LSIエンジニアリング代表取締役の大野稔さん(六四歳)は、後に日本で初めてMOS型トランジスタをつくった人であるが、シリコンのメサトランジスタに取り組んだ時代のことを回想して次のように語ってくれた。

大野　私がトランジスタのことを知ったのは、まだ大学に入る前の昭和二二年でした。名古屋大学を卒業したのが昭和二六年で、日立に入ったのは昭和三二年。私がトランジスタの話を聞いてから、ほぼ一〇年

近く経っていました。その頃になって、ようやく日本に半導体産業が起こったんでしょうね。日立製作所は武蔵野工場に中央研究所がありまして、そこのトランジスタ部がRCAから技術導入したゲルマニウムトランジスタをつくっていました。

——大学では何を専攻されたんですか。

大野　磁性体の研究をしていましたから、半導体については門外漢でした。それが、日立では「今度大学からすごいのが来るから、あれにいろいろ聞こうじゃないか」と待ち構えていたようなんですね。

——半導体の専門家が入社する、と。

大野　自分では半導体の知識が人より先んじているとは、まったく思っていなかったんですけど、大学院に残っていたもんで、日立は私に半導体の知識があると誤解したんでしょうねえ。

——なるほど。

大野　大学院に六年間残っていたんですが、あの頃大学に残るのはだいたいできが悪くて、就職できないのが残っていたんです。

——六年も大学院にいれば、半導体も知っているだろうと日立は考えた。

大野　そうでしょうね。当時はどの企業も半導体事業を興そうというので、半導体の専門家を欲しがったんですね。しかし、当時は半導体の専門家など大学にもいなかったわけですから、少しでも関係がありそうな分野の研究をしていると、引っ張りだこだったわけです。そんなわけで、私の恩師が日立製作所の中央研究所に知り合いがいたものですから、教授を介して話が来たんです。「一度お会いしたい」と、宮城精吉さんから電報をいただきました。

――それで面接ですか。

大野　今でも覚えているんですけど、昭和三二年八月一一日。猛烈に暑い真夏の昼下がり、国分寺から中研まで汗をかきかき炎天下を二〇分も歩きました。応接間に通されまして、宮城さんが当時は中研のトランジスタ部の部長だったんですが、「先生、よくおいでくださいました」と挨拶されたんです。

――先生というのは、どなたのことですか。

大野　私のことを「先生」と言ったんです。大学では一応文部教官助手でしたから。

――ああ、なるほど。

大野　応接間に通されると、宮城さんが「暑いところご苦労さまでした」と冷たいカルピスを出してくれましたので、私はむさぼるように一気に飲みほしました。すると宮城さんが「私のもどうぞ」と言って、ご自分のカルピスも差し出してくれまして、それも飲みほしたんです。今考えてみると、日立に就職したのはコップ二杯のカルピスのせいだったような気がします。

――冷たいカルピスに釣られてですか。

大野　ええ、感激したんです。「この方は何といい方だろう」とね。それでよく「カルピス二杯でだまされたのか」って、人には言われるんですけどね。

――入社してみていかがですか。

大野　入ってみると、私が半導体の専門家じゃないことはすぐに知れわたりまして、皆さんは相当がっかりなさったようでした。

――それじゃ風当たりが強かった。

大野　それに生意気にも「何でもかんでもRCAの言う通りにやるのはいかがなものでしょう」とか、「私はシリコンをやりたい」などとゴネるものですからね。

――ああ、そうですか。

大野　私たちがちょっと自分のアイディアを生かして、「ここを改善してみよう」と言うと、「いや、それは駄目だ、RCAの指示書通りにやれ」と、上の課長さんにどなられるという始末でした。

――大学の先生も形なしですね。

大野　入社早々はゲルマニウムの合金型トランジスタの劣化対策と、歩留まり向上の研究をやらされたんですが、二言目には「RCAのマニュアル通りにやったか」と言われるもので、それが気に入らなかったんです。人がやり尽くしてノウハウブックまでできているようなことを、今さらやっても意味がないのじゃないかと思いましてね。どうせやるなら、当時日本ではあまりやる人のいなかったシリコンをやりたいと申し出たんです。

――ゲルマニウム全盛の時代ですね。

大野　そうですよ。つくるそばから売れていた時代でしたから、大野はゲルマニウムに何の不満があってシリコンなどやりたいと言うのかと、先輩諸氏から相当ひんしゅくを買ったようでした。

――それで。

大野　宮城さんのところに直訴したんです。すると、宮城さんは私の言い分をよく聞いてくれま

して、「そうだな、だれかが先の技術に手を着けておくことも大事だな」と納得してくれました。それで私は、シリコンの道に入ることができました。ですから、宮城さんには感謝しているんです。一度脳出血で倒れられたんですけれども、今はご健在のようでほっとしているんですがね。

昭和二七年に日立製作所はＲＣＡと包括契約を結び、技術習得のためにエンジニアをニューヨークに駐在させるが、最初の駐在員が宮城精吉さんであった。当時、日本の半導体研究者の多くは、丸紅飯田ニューヨーク駐在員の木村市太郎さん（六五歳）に手配を頼んだが、木村さんが大いに頼りにしたのが、同じくニューヨーク駐在の宮城さんであったという。したがって、日立製作所のライバル各社も、木村さんを通じて結局は宮城さんに動いてもらっていたというのである。彼は工場で観察し目撃した事柄を、詳細なスケッチを添えて日本に書き送ったが、その報告書がその後の日立の海外出張報告書の様式になった。その宮城さんが、この本の上巻が出た直後にお亡くなりになったそうである。大野さんは、宮城さんが登場なさっているページ（上巻二七七ページ）を広げて霊前に捧げたという。

人形筆と顕微鏡の神業

さて、大野さんが手をつけたシリコントランジスタこそ、先に詳述したメサトランジスタであった。大野さんは試作したメサトランジスタの実物から当時使った道具一式まで、大切に保存していた。金属製の治具、穴の開いた金属マスクなど、リンカーン・デリックさんが持っていた道具と多くが似ていたが、大きく違っていたのが、スプレーガンの代わりに一本の細い筆があることだった。

——大野さん、この細い筆は。

大野　アハハハ。それは浅草で買った人形筆ですよ。人形の顔を描く筆です。

——何に使ったんですか。

大野　メサ型は最後に不要部分をフッ酸液で削り取って、台地状にしますね。そのときに必要な部分をワックスでカバーするんですが、そのワックス塗りを、私は筆でやったのです。

——えっ、この筆でですか。

大野　そうです。アピエゾン・ワックスを溶剤で溶かして、それを筆の先につけて顕微鏡で見ながら、シリコンウエハーにワックスの点を打っていったのです。

——ひえー。

当時試作したという工程見本があった。直径一インチ（約二・五センチ）のシリコンウエハー。その表面には、碁盤の目のように二〇〇個のマス目が整然と並んでいた。聞いてみると、マス目一個がトランジスタであった。マス目の大きさは縦横〇・五ミリ、その真ん中の光沢が違って見える。顕微鏡で見ると、それは銀色に輝く二本の線であった。それがシリコン酸化膜の表面に開けられた二つの窓であり、伝導物質を拡散したあと、金属の薄膜を蒸着させた電極であった。

各電極をワックスでカバーしたあと、ウエハーをフッ酸液に漬けると、不要な酸化膜が溶けて流れて、各マス目の中に台地状断面のメサトランジスタができる。これを切り分けて各チップに金線をつなぎ、容器に入れて商品が完成するのだが、電極の大きさが、なんと幅五〇ミクロン。これが二本、一〇ミクロン間隔で並んでいる。この二本の電極をワックスの点を塗ってカバーするのだが、二本の電極を覆う点の大きさが直径〇・三ミリ。すべてのマス目の中心点に直径〇・三ミリのワックス点を

顕微鏡をのぞきながら人形筆の先を操作する

筆先とワックス液の顕微鏡写真。右列は液が流れている失敗例

描いていくのだが、それを人形筆でやったというのである。この作業をリンカーン・デリックさんは金属マスクをシリコンに重ね、上からスプレーガンで液状のワックスを吹きつけて一発で処理したが、大野さんは人形筆で一個一個にワックスの点を打っていったのである。人形筆の神業である。

アピエゾン・ワックスは、ちょうど習字に使う墨ほどの大きさの黒い棒であった。これをナイフで削り皿の上で溶剤に溶いていくと、習字の墨汁と同じ感じの液体になる。沢山のトランジスタがすでにできているウエハー見本のなかから、一枚を顕微鏡にセットして対物レンズを接近させ、ウエハー表面に焦点を合わせる。次に、人形筆の先端にワックス液を漬け、呼吸を止めて筆先を顕微鏡の下に接近させる。顕微鏡にはテレビカメラがセットしてあるので、筆先の動きがブラウン管に映っている。なんと、大野さんが使っているのは、人形筆の先端のほんの一部にすぎなかったのである。毛先に付着したワックスを、マス目の中央部に接触させせようと努力しているのだが、それがなかなかうまくいかない。「あーっ、失敗した、駄目だ。ワックスが硬すぎて毛先に載らない」と悲鳴を上げる。溶剤を足して薄めて再開すると、今度は「あーっ、大変だ。シリコンが全滅だ」。ワックス液が軟らかすぎて筆先からポタリと滴り落ち、ウエハーの半分がワックス液で覆われてしまったのである。マス目の中心にちょうどよい大きさのくっきりした円を塗っていくのは、並大抵の技ではない。点を打つたびに大野さんは「ウッ」とうめき声を上げ、顕微鏡をのぞく目の縁がピクピクと痙攣した。

――こりゃ、大変な仕事だ。

大野　もう駄目ですね、こらえ症がなくなって。若いときは一個一個丁寧にやれたんですがね。

――これ、生産ラインでも同じことをトランジスタガールがやったんですか。

大野　ええ、私なんかよりはるかに熟練していましたから、ほとんど失敗がありませんでしたね。

ワックスの点が悪ければ、そのマス目は不良品になるわけですから、作業員は必死でした。それだけ生産歩留まりが下がるわけですから。

——本当に日本のトランジスタガールは優秀だったんですね。

大野　まったくです。やがては人形筆など使わない方法を開発しましたがね。

昭和三五年には、日本電機の長船廣衛さんたちもシリコン・メサの試作に成功したが、おそらく同じような苦労をしたに違いない。

二重拡散法の国内特許

余談になるが、二重拡散法については、理論特許だけは日本でも昭和二七年に出願され、成立していた。発明者が岩瀬新午さん、穴あきバケツを利用してゲルマニウムを純化し、日本で最初の点接触型トランジスタを試作した電電公社武蔵野通信研究所の技術者であった。

岩瀬　私はね、電電公社の通研時代に二重拡散法を発明して、特許を取っていたんですよ。

——えっ、二重拡散法ですか。

岩瀬　そうです。実は合金型で苦労しましてね。NPNサンドイッチのP型層をできるかぎり薄くするのが特性を上げる方法なんですが、これがなかなかうまくいかない。製造上の限界があったんですね。そこで、別の方法がないものかと海外の特許などを検討していましたら、拡散法でゲルマニウムをP型にもN型にもできることを知ったんですね。そこで私は、それなら拡散を何回も重ねることで接合型のトランジスタができると考えまして、「多重拡

散によるトランジスタの形成原理」の特許を申請したんです。

——つくり方もですか。

岩瀬　いいえ、つくり方ではなく理論だけです。

——それで特許が下りたんですか。

岩瀬　ええ、昭和二七年に申請して、その年認められました。その名儀上の所有者は電電公社でした。

——実際にものはないんですね。

岩瀬　ありません。でも、拡散係数の計算を細かくやって、一ミクロンの中間層を半導体内部に形成することは可能だという結果を得ていたんです。

——表面に酸化膜をつくって、窓から二重拡散することは？

岩瀬　ああ、プレーナ法ですね。いや、そこまでは考えていませんでしたが、拡散を繰り返すことで接合トランジスタをつくる方法のすべてを特許に含むという申請をしたのです。

——へえ、昭和二七年に二重拡散の国内特許が成立していたんですか？

岩瀬　ええ。その後メサ型とかプレーナ型の特許を買って、日本の各メーカーが製造するようになったときに、電電公社の特許課長が多重拡散の特許について電電公社に特許使用料を支払ってもらえないかと各社を回ったんですね。そのとき私のところにも来ましてね、発明者としての意向を聞かれましたよ。私が特許使用料を欲しいと言えば、電電公社は各社に対して強硬に支払いを要求するつもりだが、と課長から言われたんですがね。

——岩瀬さんにも莫大な特許料が入ったかも知れませんね。

岩瀬　ところが、私はそのときは三洋の給料をもらっている身分でしたから、私が特許料を欲しいといえば、電電はまず三洋に支払いを要求し、「発明者のいる三洋さんも払ったんだから、あなたのところも払うべきだ」と各社に説得すると言うんですね。それで私は大いに動転しまして、そんな三洋を裏切るようなことはできないから、多重拡散の特許はそっとしておいてくれと頼んだんです。それで、電電も多重拡散の特許を黙認する形になったんですね。

――そんな、バカな。もしウンと言っていれば、特許収入は三洋の給料どころじゃなかったでしょうに。今もって使われている技術ですから、ガッポガッポでしょうに。

岩瀬　アハハハ。そうですがね。三洋には恩義がありますから。

二重拡散法はメサ型だけでなく、後章で詳述することになるが、プレーナトランジスタやその延長技術である集積回路ＩＣにも使われた基礎技術である。したがって、アメリカからプレーナ型のトランジスタやＩＣが上陸してきたとき、すでに国内で二重拡散の特許を持っていた岩瀬さんは、「多重拡散法」の特許を対抗手段に使おうと思えば使えたのである。それだけでプレーナ技術の上陸を阻止できたとはとても思えないが、日本側にとっては充分な時間稼ぎができたかもしれなかった。ところが、通産省の勧めにもかかわらず、岩瀬さんは動かなかった。電電公社から三洋にスカウトされて移籍していた岩瀬さんは、特許権を主張すれば、理屈の上では世話になっている三洋からも特許料を取るということになる、そのような恩知らずな行動は、たとえ理屈の上だけとはいえ、とるわけにはいかないと考えたというのである。いかにも日本人的な発想で興味深い。

岩瀬　その後、テキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社がＩＣの特許を持って日本に乗り込んで来

たときに、通産省の主催で対策会議が開かれて、私は三洋の代表で出席していたんですが、やっぱり言えませんでしたよ。多重拡散技術を日本が持っているんだから、有効に使えば大変重要な対抗手段になったんですが、やはり私個人の業績をひけらかすようで、できませんでした。

——日本の電子産業界の危機でもですか。

岩瀬　言えませんでした。日本は特許に対する考え方が甘いですから、特許料を欲しいなどと言える雰囲気ではありませんでしたよ。ましてや、恩義のある会社に払わせるなど。

——まかり間違っていれば、フェアチャイルド社やTI社並みの大金持ちになれたのに、残念でしたね。

岩瀬　昭和三九年にTI社の日本進出問題が起きた時点でも、まだ一年の特許期限がありましたからね。一生に一度のチャンスでした、大金持ちになる、アハハハハ。

テレビにゲルマニウムは使えない

日本の企業がシリコントランジスタに着手する時期が遅れたのは、アメリカと異なって軍事・宇宙の分野がなかったことが大きい。トランジスタラジオが需要の大半だった日本では、ゲルマニウムトランジスタで充分だったのである。アメリカの軍事産業や宇宙開発は、耐熱性に優れ、信頼性の高いトランジスタをコストに関係なく必要としたが、そういう事情は日本には存在しなかった。

日本で最初にシリコントランジスタを必要としたのは、これまたソニーであった。トランジスタラ

ジオで大成功した東京通信工業は昭和三三年、ラジオなどの商標に多用した「ソニー」を社名にしたが、そのソニーは、ラジオに続く商品としてトランジスタテレビの開発に的を絞ったのである。ところが、テレビに使うトランジスタは、ゲルマニウムトランジスタでは使い物にならなかった。

理由が二つあった。第一に、テレビの電波は周波数が中波ラジオとは比較にならないほど高い超短波帯であり、高周波特性の悪いゲルマニウムトランジスタでは、テレビ周波数を処理することができなかった。これを処理できるトランジスタは、三層構造の中間層がミクロン幅の狭間隔にできるシリコン・メサでなければ無理であった。第二の問題点は、テレビの高圧回路には発熱の激しいブラウン管や真空管を使わざるをえず、トランジスタは耐熱性の高いシリコントランジスタでなければ作動が安定しなかった。したがって、トランジスタテレビを開発しようとすれば、シリコントランジスタそのものを開発せざるをえなかった。ところが、当時の日本には半導体用の高純度シリコンを製造する会社が存在しなかったのである。

現在では多結晶メーカーが二社、単結晶メーカーが七社ある。高純度の多結晶シリコンが年産およそ二五〇〇トン。それは、世界の生産量の三割を占める量である。現在は文字通り日本は半導体用シリコンの生産大国である。

しかし、昭和三〇年代の初め頃、日本の半導体用シリコンの生産量は統計にも現れないほど微々たるものであった。日本の鉱業統計に高純度シリコンという項目が現れるのは昭和三四年からで、その量はわずか二三キログラムであった。

日本で最初にシリコンの生産に着手したのは、東海電極である。昭和二九年に東北大学選鉱製錬研究所の小野健二教授の研究成果を企業化して製造を開始したが、当時はまだゲルマニウムが全盛時代

でシリコンの需要は伸びず、結局、東海電極は昭和四〇年シリコン市場から撤退した。
東海電極と前後して操業を始めたのが、水俣の新日本窒素肥料である。この会社は戦前、朝鮮に大きな肥料工場を持ち、多くの社員がいた。彼らが終戦とともに水俣に引き揚げてくるのだが、そのために会社は多くの余剰人員をかかえることになった。幹部は必死で引き揚げ従業員の職探しと新事業の開拓に奔走したのである。そんな新日本窒素肥料が目をつけたのが、当時ブームとなっていたトランジスタの原材料であるゲルマニウムであった。彼らはこれから触れる事情でシリコンの製造に着手して苦難の末に成功し、チッソ電子を設立するのだが、その陣頭指揮をしたのが当時肥料部長の前田一博さん（現在七八歳）であった。

前田　当時の日本窒素は引き揚げ者が多かったものですから、調査整理本部というのをつくりまして二つの活動をしたんです。一つは引き揚げ者の職を探すこと。もう一つは新しい仕事をつくって、そこに引き揚げ者を吸収すること。この二つが会社の緊急課題でした。海外や戦地から同胞社員が引き揚げてきますから、何とか職場をつくらなきゃいかん。何か始めたいなということで、ウロウロと新しい仕事を探しておりました。そんなときにソニーさんがポケットラジオで当てましてね、ゲルマニウムのトランジスタで。

――トランジスタラジオですね。

前田　そう。あれで猛烈に当てたんですよ。それっていうんで、一斉に日立とかＮＥＣ、それから松下、三洋なども、みんな大工場をつくってゲルマニウムのトランジスタをやり始めた。もう、すさまじいものでした。ですから、私どもも初めはゲルマニウムが非常に有望だと考えまして、ゲルマニウムをやろうかということになりました。

——肥料会社がゲルマニウムと関係があったんですか。

前田　新日本窒素肥料は金属を塩素で溶かして精製する技術を持っていまして、ゲルマニウムの精製も実はその方法でできるものですから、ゲルマニウムをやろうかという話になったんです。

——それで？

前田　実はゲルマニウムのトランジスタラジオが当たりましたあと、ソニーが今度はトランジスタテレビをつくろうとしたわけです。ところがテレビは非常に消費電力が大きくて、セットの中の温度が上がるんです。それで、ゲルマニウムのトランジスタを使ったんじゃ、全然もたんのです。

——ゲルマニウムトランジスタは熱に弱い。

前田　そう。ゲルマニウムですと五〇度までですね。シリコンですと一五〇度から一七〇度くらいまでもつんですが。

——そうすると、使用環境が五〇度にもなるとパー？

前田　だから、当時は暑い海岸にトランジスタラジオを置いといたら、聞こえなくなったもんですよ（笑）。それで、ソニーはシリコンに転換しようとしていたんですが、それを私たちは知らないものですから、ゲルマニウムの将来性を聞きに、ソニーの井深さんを訪ねました。私とご一緒した白石さんは、当時公職追放でパージになっていましたが、井深さんと縁戚関係にありましたので、その縁を頼ってソニーを訪れたわけです。

——当時は東京通信工業でしたね。

前田　そうそう。私が井深社長に会いに行きましたときは、おんぼろの木造の二階家でした。ガタガタいう木造の階段を二階に上がりましたら、階段の隅に第一号の大きなオルガンのようなテープレコーダーがありましたよ。

——東京通信工業のヒット商品の第一号ですね。

前田　そう。そのガタガタの階段の脇から地下に下りると、狭い部屋があって、そこでソニーは結晶づくりをやっていたんです。ご承知のように、ゲルマニウムを精製するにはゾーン・リファイニングという方法でやるんですが、この方法が使えない。それがシリコンの欠点で難しさだったんですが、いずれも、熱やガスを使うものです。特に水素を使いますから危ないというので、地下のコンクリートの中でやっていました。

——木造二階建ての地下？

前田　そう。実験器具があって、ちょっと危ないところだけ、天井が抜けるようになってたはずです。

前田一博氏

——広さはどれくらいの。

前田　狭いですね、三坪くらい。そりゃもう狭いもんです。ソニーだってカネがなかったんですから、当時はまだ。

——そこでシリコンをやってたんですか。

前田　いわゆる粉末状の多結晶シリコンを買ってきて、チョコチョコやってたわけです。しかし、われわれはもっと大がかりにやらなきゃいかんと覚悟してましたから、「こん

な小さいもんじゃ駄目なんだ、大きくしなけりゃ、大きくしなけりゃ」と、それぱかり考えながら、何回もソニーの地下室に通いましたよ。

ソニーに勧められてシリコン精製

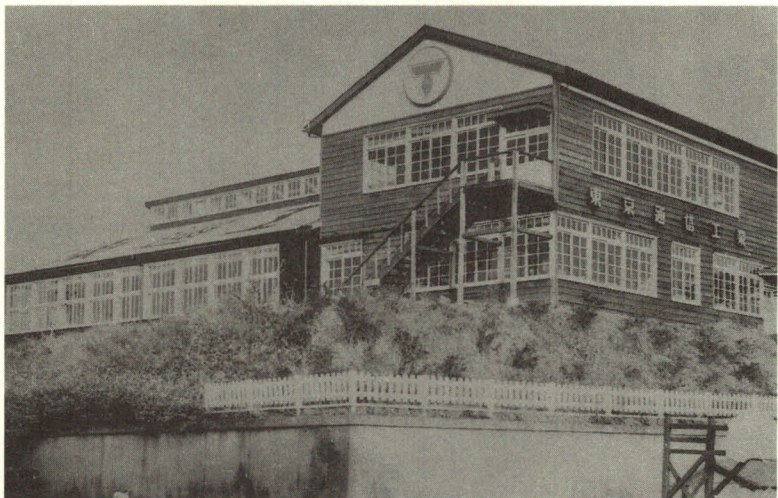
——井深さんはどうおっしゃったんですか。

前田　私がゲルマニウムで、何かおもしろい仕事がないものだろうかと聞いたんです。そうしましたら、井深さんとあとで社長になられた岩間さん、それから盛田さんが、口を揃えて「前田さん、もうゲルマニウムの時代じゃないですよ。シリコンですよ」と。あのゲルマニウム全盛のときに「シリコンをやってください」と言うんです。

——びっくりなさった?

前田　岩間さんは四年前に亡くなられましたが、先を読んでおられましてね。「半導体に使うシリコンは非常に高純度のものが必要で、われわれ電気屋ではとても手が出ません」とおっしゃるんですね。といいますのは、シリコンの精製はゲルマニウムと違って化学精製なもんですから、難しかったんでしょうね。珪石(けいせき)を塩酸（HCl）と化合させて三塩化シランにするとか、あるいは塩素ガスに反応させて四塩化シリコンにして、精製するものですから。

——なるほど。

前田　だからソニーは、「モチ屋に任せますよ、とても電気屋には手が出ない」と言うわけですね。ところが、「非常に急ぎます」とも言うんです。それで私も、確かめるために通産省に行き

前田氏が通った当時の東京通信工業の木造社屋

ましたら、ゲルマニウムもシリコンも両方欲しいんだけど、今は全部輸入だと言うんです。どちらも非常に値段が高くてどうにもならんから、どこか日本の企業にやってもらいたいと言うんですね。

——通産省が太鼓判を押した?

前田　そうです。当時、ゲルマニウム資源は完全に外国に頼っていました。国内では、せいぜい使用済みのクズを回収して再生するぐらいしか、方法がなかったんですね。ところが、シリコンのほうは原料が全部日本にありますから、国産に向いているというわけで、通産省も大いに勧めてくれたわけです。

——なるほど、それで大船に乗ったつもりで。

前田　いろいろと業界を探っていると、テ

レビはシリコントランジスタでなきゃ駄目だということがわかってきたんです。NECはすでにフェアチャイルド社のライセンスを取って、シリコンのトランジスタをつくっていましたし、半年遅れてソニーもシリコンのトランジスタをつくりました。これで確かにシリコンの時代になると確信して値段を調べますと、なんと超高純度の多結晶シリコンが五〇〇円。

——一グラム?

前田　一グラム。これを単結晶にするんですが、単結晶にすればまた何倍もの値段で売れる。ちなみに、ゲルマニウムの単結晶が当時は一グラム一五〇〇円でしたから、これはいけると判断したんです。こうして、白石さんの命令で私が引き受けてやることになったわけです。

昭和二九年、さっそくパイロットプラントを熊本県の水俣本社工場の中につくって、テスト製造してみることになった。まだ、水俣病が社会的な大事件になる前のことである。

前田　ところが、パイロットプラントをつくろうにも、だれもわからんのですから(笑)。原料の多結晶シリコンは純度九五パーセントから九〇パーセントぐらいなんですけれど、半導体に使うものは純度九九・九九九九九……と、九が一〇個とか一一個並ばなきゃ駄目だと聞いて、びっくりしたくらいですから。

——純度が……。

前田　九九・九九九九九九九九と九が一〇個並ぶから、テン・ナインというのです。

——なるほど、テン・ナインですね。

前田　当時、純金の純度が国際規格では九九・五パーセントと決まっていましたから、それは知

っていたんですが、九が一〇個も並ぶような純度をどうやってつくるか、だれも知りやしない。しかし、ちょうどわれわれがやる六年前に、デュポンが一九四九年だったと思いますが、シリコンを始めたと聞きまして。

——昭和二四年に？

前田　はい。探ってみたら、亜鉛還元法だという。材料は何を使ったか調べてみると、四塩化シリコンを使っている。シリコンの塩化物には大まかに三つありまして、まず四塩化シリコンで沸点が約六九度。次が三塩化シランで沸点が約三二度。だから三塩化シランなんか扱うと、そりゃ大変ですよ。

——どうして？

前田　三塩化シランは水に触れると爆発するんですな。夏なんか、三塩化シランは気化しやすい。だから、設備が不完全だとガスが漏れて出る。すると、漏れたガスが空気中の水分に触れてドカーン。

——爆発するんですか。

前田　はい。それから、三番目がモノシランでシリコンと水素だけが結びついたやつ。これが一番危険なしろものでして、沸点がマイナス百何十度。マイナス百何十度以下でなきゃ液体にならない。それでデュポンは、一番安定した四塩化シリコンを選びよったなと推定したわけ。じゃあ、われわれも安定した四塩化シリコンでやろうということになった。水俣でね。

——水俣の新日本窒素時代ですね。

前田　そう。

シリコン製造法は三つあった。まず一つ目の方法は、デュポン社が成功した方法で四塩化シリコン（$SiCl_4$）を亜鉛で還元する方法。これは東北大学の小野教授も手がけ、東海電極が企業化した製法でもある。二番目が三塩化シラン（$SiHCl_3$）を水素で還元する方法。最後がモノシラン（SiH_4）を熱分解する放法である。

パイロットプラントには、四塩化シリコンを亜鉛で還元する方法が採用された。まず純度九八パーセントの工業用シリコンの塊を塩素（Cl）で反応させてガス状の四塩化シリコンにする。一方、亜鉛（Zn）も加熱反応炉で加熱する。四塩化シリコンガスを事前に一一〇〇度という高温にスーパーヒートさせておき反応炉に入れて化合させる。やがて高純度シリコンが析出し反応炉の壁に付着する。副産物の塩化亜鉛はガス状のまま炉の外に排出される。炉の中には高純度シリコンだけが残る（$2Zn+SiCl_4 \rightarrow Si+2ZnCl_2$）というわけである。

前田　この亜鉛還元法をやる前に、水素還元でやってみたんです。つまり、四塩化シリコンのClを何かに結びつけてやればいいんだから、亜鉛じゃなくても水素でいいはずだというわけ。

――うまくいったんですか。

前田　いやいや、大失敗さ。八田君という化学屋を大将にして、長さ二メートルくらいの小さな実験用の反応炉をつくって水素でやったんですよね。

――材料に工業用のシリコンを使うところまでは同じですね。

前田　そうなんです。純度九八パーセントの工業用シリコンを塩素で塩化物にして、これに水素ガスを反応させようというわけ。塩素自体もドカン、ドカンいきますから。イヤなやつで

したよ。まあ水素ほど怖くはありませんでしたがね。水素は怖かった。

——大爆発？

前田　ええ、やりましたよ。

爆発、爆発でまさに命がけ

写真は、水素還元でやった最初の実験装置である。テレビ撮影のために、水俣工場の一角に復元することになった。技術復元は前田一博さんの陣頭指揮で、現在のチッソ従業員が行った。耐火レンガを高さ五〇センチ、長さ二メートルに積み上げて炉床をつくり、その上にニクロム線を巻きつけた石英管を据えつける。これが反応炉である。それにはお尻から出口用のパイプが、入口には二本の細いパイプが取り付けられている。その一本から四塩化シリコンのガスを、同時にもう一本から水素ガスを流し入れながら、石英管をニクロム線で加熱する。すると、四塩化シリコンが水素で還元されて、シリコンが固体として析出するはずだというわけである。ところが、これは机上のプランであって、当時の技術では成功するはずのない方法であった。

前田　僕らは初め、石英を縦に立てて反応炉をつくろうとしました。ところが、八田君という技術者が、縦向きはいかん、横向きにするよりしようがない、と言うものですから、横向きの反応炉をつくったんです。

——なぜ、縦型じゃいけないんですか。

前田　下から水素を入れますと、水素は軽いから瞬時にパーッと上に抜けちゃう。速いんです、

スピードが。それで、水素を石英の管の中に滞留させるには、横向きにするしかないということで、横向きにして反応炉につないだんです。

——水素の出口は。

前田　それが反応炉の上につけないで、真ん中につけてしまった。

——何が問題だったんですか。

前田　水素を使ったあと、反応炉を止めて中の水素を置換するわけです。爆発しないガスをどんどん入れて。

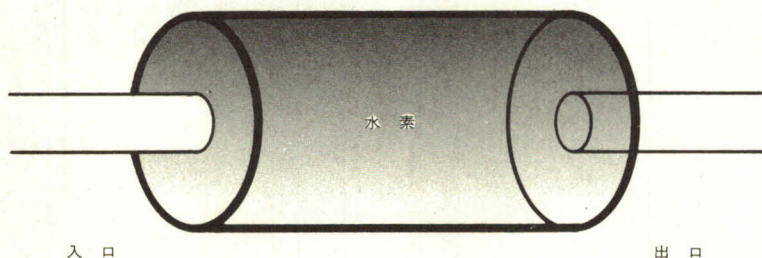
——不活性ガスを入れて？

前田　ええ。普通の空気を入れると、酸素と加熱水素が反応してドカンといきますから。まず不活性ガスを注入して、水素と入れ換えてから炉の口を開けるんですが、あるとき、ふたを開けたらドカーンと来た。あとで気がついたんですが、反応炉の真ん中に口がついてますと、置換したつもりでも水素が軽いものだから、反応炉の上部に残っているんですね。これに気がつかなかった。

——反応炉の天井付近に水素が……。

前田　残ってたんですよ。

反応炉の石英管の出口をつけ間違えたというのである。ガスを置換するとき、出口が石英管の上部についていれば、残留水素ガスが上に抜けていくのだが、図4のように出口が反応炉の腹部についていたために、軽い水素ガスが出口より上のほうに滞留していた。余熱のある炉の中にガスが残留し、その状態で炉の口を開けたからたまらない。空気中の酸素と炉に残っていた水素が一瞬のうちに結合

図4　シリコン精製炉

して大爆発となった。

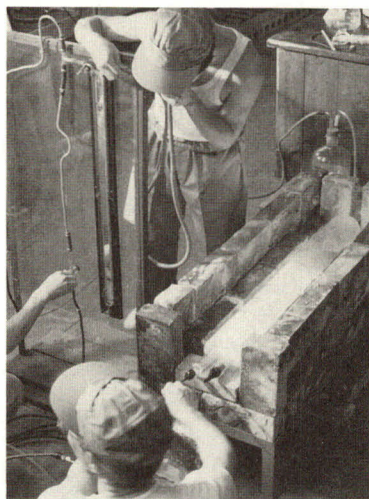
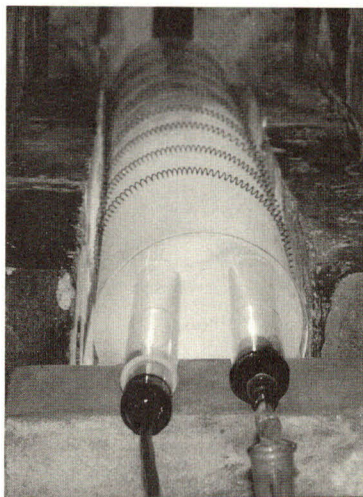
——何度か爆発騒ぎがあったんですか？

前田　大きいやつを二回やりましたな。危ないとこだったですよ。命がけでした。

——四塩化シリコンを水素で還元するのは失敗したわけですね。

前田　そう。結局、亜鉛還元でやるしかないということになって、これをやったんですが、亜鉛の純度が低すぎて話にならない。

——それでも、一応はシリコンが析出したんですか。

前田　ところが、恥ずかしい話ですけど、できたのは真っ黒なガサガサしたやつでね、なーんだ、これがシリコンかいなっちゅうわけ（笑）。ちょうどウニのとげのようなのがいっぱいついたのが、ガサガササッと出てく

水俣で復元設置されたパイロットプラント

反応炉

るんです。

――銀色じゃなくて真っ黒いのが。

前田　そう。もう、そりゃがっかりしまして。これじゃあ使いものにならんというわけ。これをなんとかするには、すべての純度を上げなきゃ駄目だということがわかった。それで、四塩化シリコンを精製して、あと亜鉛をどうするかということになった。

――亜鉛は自分で精錬できなかったのですか。

前田　製錬所じゃないからね。それでいろいろ探し回ったところ、三井金属の研究所が高純度亜鉛、確か純度テン・ナインの亜鉛を売り出すということを聞き込みまして、じゃあそれを使えばいいということになった。

――めでたし、めでたしですね。

前田　そうは問屋がおろしませんでした。

値段がべらぼうに高いんです。金より高いんですから、こりゃ駄目だということになって、自分でやることになりました。

――高純度の亜鉛を。

前田　つくろうというわけだったんですが、実はその前に器具や装置をきれいにしなきゃならない。それには結局、石英ガラスの装置をつくらなければ駄目だということになっちゃったんです。

――装置って、どんなものを指すんですか。

前田　パイプとかバルブとか、一番大切なのが水。これが汚れているとシリコンに不純物が入っちゃって、半導体に使えるものにならないんです。

――きれいというのは、われわれが手を洗うとかいう程度のことじゃなくて、純度の高いものを使うということですね。

前田　いわゆる超純水ですね。三桁も四桁もよい純水を使わなきゃ駄目だということが、だんだんわかってきた。やがて、あらゆるものの純度を上げていけば、シリコンも超高純度にすることができると確信が持てるようになったんです。

――これで成功間違いなし？

前田　そうは簡単にはいきませんでした。一番手こずったのは亜鉛の精製でした。最初は普通の精蒸塔でやったんですが、これがまったく使えなくて、結局、石英細工の化け物みたいなもので溶解炉、蒸発炉、結晶炉をつくって、全部石英製の装置でやりました。ところが、これにも欠点がありまして、非常に純度は高くなるんですけれど、装置全体を摂氏一〇〇

〇度以上の温度に保たなきゃいかんのです。だから、耐火レンガがポッと割れたり、冷たい空気がちょっと局部に触れると石英がパチーンと割れちゃうんですね。ちょっとでもヒビが入ると、溶けた亜鉛が瞬時に固まって手に負えなくなる。もちろん、ヒビから不純物が混入して、高い純度のシリコンができない。

――それで結果は。

前田　できたんです。三井に匹敵するいい亜鉛ができた。これで絶対に大丈夫という自信ができて、思いきって大きな炉にしたんです。

――なるほど。

前田　ところが電気代が高くて、運転費用がバカにならない。それで、電気の代わりに石油ガスを使うことにした。バーナーからコントロール・バルブまで全部輸入して。

――電気代を節約するために？

前田　電気の一〇分の一くらいになりましたから、燃料代が。

――石油ガスで？

前田　そう。シリコンというのはカーボンを非常に嫌うんです。不純物ですから。カーボンとか鉄をね。だから、できるだけカーボンが出ないように工夫しました。どんどんきれいな空気を送り込んで、燃焼ガスを上から抜いてやったりしてね。

――これで万事順調ですね。

前田　原理的には問題なかったんですが、日本人の性質というか、貧乏性というか、炉の温度がバーッと上がると、あわてて止めちゃうんですよ。止めると、今度はバーッと温度が下が

っちゃう。バーナーとバルブの位置は危険防止のために離れていましたから、担当者はバーナーとバルブの間を始終マラソンすることになった。いちいち走って行って止めたり入れたりするもんですから、肝心の炉の温度が非常に不安定になってしまった。そんなわけで、これは日本人の性質には向かんかったですな。

――まだ自動化はしてないし……。

前田　もちろん自動化はしてない。

――人間が走ってね。

前田　バルブをやらにゃいかん。ところが、日本人は何事も中途半端が嫌いで、律儀にバルブハンドルをキュッ、キュッと一回一回丁寧に締める。ゆるゆるにしておけない。

――すぐギュッと回しちゃう。

前田　ところが、バルブを締めても温度は急には下がらんのです。ガスというやつは。ありゃ、おかしいぞと、またギュッと締める。下がりだしたらサーッと急激に下がって、今度は火をつけて温度を上げようとしても、なかなか上がらない。どうもコントロールが人手だったこともありまして、うまくいかなかった。それで結局、高いけれど電気に戻りました。

――やっぱりカネがかかっても電気がいい。

前田　いくら節約できても、モノができないんじゃ元も子もない。

――アハハハ、そりゃ、そうですね。

高純度シリコン製造のために建設された野田工場

掘っ立て小屋で万歳三唱

昭和二九年から水俣のパイロットプラントで数々の実験を重ねたあと、昭和三一年に生産工場の建設場所を千葉県の野田に決めた。当時、野田といえば醤油工場しかなかった。一面に松林が密生する原っぱの真ん中であった。

高純度シリコンの製造はゴミを非常に嫌うと耳にした前田さんは、ゴミの少ない土地を物色して歩いた。関東地方の冬はゴミが舞うというので、冬の期間を下見に当てた。ゴミの少ない土地を求めて、関東一円を軽飛行機で飛んだのである。ゴミは富士山から遠ざかるほど少なくなった。やがて、飛行機は野田の上空にきた。眼下には一面の松林が続いていた。直観的に「ここだ」と決心した。松林の中なら大丈夫だろうと思ったのである。

ところが、ここには致命的な欠点があった。

地盤が劣悪だったのである。工場の建設では電柱ほどのコンクリートポールを何本打ち込んでも、ズブズブと底なし地盤が杭を飲み込んだ。江戸川と利根川に挟まれたこの一帯は、松林の下が沼地に近かったのである。水はけが悪く、その代わり松がよく茂っていた。シリコン単結晶の製造途中で装置が振動すると、製品に欠陥が生じてしまう。したがって、工場は耐震構造にしなければならないが、地盤が軟弱では建設費用が倍加する。こうした伏兵に悪戦苦闘しながらも、最初の試運転にこぎつけたのは昭和三四年の冬、松林に寒風吹きすさぶ一二月のことであった。

前田　そりゃあ、最初に製品ができるというときは、社長以下みんな掘っ立て小屋にこもって、でき上がるのを待ったですよ。

――今か今かと。

前田　そう。それがいざ釜出しというときに事故が起きて、人が死にそうになって大騒ぎ。

――それはまた、どういうことですか。

前田　大きな石英チューブの内側に、シリコンの結晶が小さなブドウの房のように成長しているんですが、みんな興奮気味で大事な作業を忘れてしまったんです。

――何ですか、その大事な作業とは。

前田　反応中は石英管の中には亜鉛のガスと四塩化シリコンのガスを流していたんですが、いよいよ取り出すときは、これらのガスを窒素ガスで置き換えてから冷やしてやるんです。この窒素ガスがテントの中にも流れ出て濃度が高くなっていた。

――なんでテントなんか張るんですか。

前田　炉全体をゴミから守ろうとしたんですな。

——そのテントに窒素ガスが流れ出て、空気を追い出した？

前田　そう。

——そりゃ、危ない。

前田　そう。ところが、興奮した作業員が前後の見境もなくビニールテントの中に入っちゃった。入って三〇秒も経たんうちに、ばたりとビニールの外に倒れ出た。

——酸欠ですね。ああ、こわ。

前田　ところが、これ、意外に気がつかないんだよなあ（笑）。

——夢中で？

前田　というより、水素を使っていないんだからという気安さがあって、酸欠のことなんかすっかり忘れていたんですな。

——危機一髪でしたね。

前田　そう。そんな騒ぎのあと、ようやく取り出したのがこれですよ。そのときできた高純度多結晶シリコンです。きれいな白銀色をしておりましょう。

——銀色ブドウのような……。

前田　ブドウのような房になるんです。房の一粒一粒が単結晶ですよ。これが最初の装置でできた高純度多結晶シリコンでした。

——感動的だったでしょうね。

前田　というよりホッとしたというか、思わず全員から安堵のため息がもれたものでした。

前田さんは小箱の中から、小さな銀色の房をつまみ上げた。それは唐辛子ほどの大きさで、小さな

関係者は寒風吹きすさぶなか、初製品の完成を首を長くして待ち続けた

結晶粒がブドウのようにびっしりとついていた。これが、苦闘の末にやっと手にできた超高純度の多結晶シリコンであった。しかし、これだけでは半導体材料としての可否がわからない。そこで、多結晶を単結晶につくり直して測定するのである。その結果で、トランジスタ材料としての評価が決まることになる。当然前田さんたちも、ブドウ状の多結晶を単結晶につくり直した。その間、数時間、再び掘っ立て小屋に戻って、まんじりともせずに待ったのである。

前田　できた単結晶棒がこれなんですが。およそ四〇グラム。これが、私たちの最初の製品でした。

——さあ、単結晶ができた。

前田　これを切断しまして、下から三分の一くらいのところで抵抗値を測ってみると、結晶のできの良し悪しがわかるんです。

——その結果を、社長以下が掘っ立て小

屋で待っていたんですね。

前田　間もなく係長が「単結晶ができました」と飛んできた。私が「よし、測定に回せ」と言う。また係長が掘っ立て小屋に飛んで来た。「どうだ、大丈夫か」「二〇〇オームもあります」と係長。「大丈夫か」ってみんな念を押す。

——何の念を押したんですか。

前田　いろんな条件で、まるで抵抗率が変わるんです。測り方だとか、針先の状態とか、針間隔だとか、表面の粗さだとか、表面の清浄さだとか。いろんな条件で変わってしまうもんだから。

——それで念を押した。

前田　ところがみんなに「大丈夫か」と念を押されて、係長が「絶対に二〇〇オーム以上は保証できます」と答えた。二〇〇オームも出りゃ、そりゃもう大したものですわ。みんなで万歳ですよ。ワーッと喜んだですな。寒さ忘れたですよ。掘っ立て小屋の石油ストーブの周りで、バンザーイ、バンザーイと。こんなに印象深かったことないですよ。

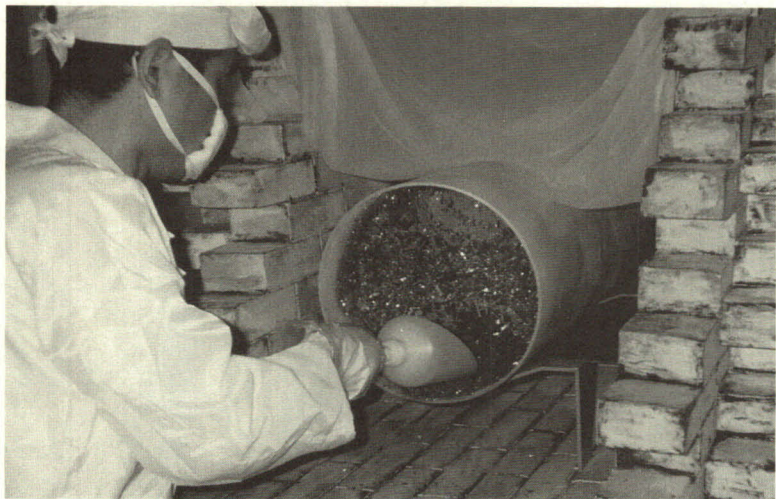
——二〇〇オームで？

前田　二〇〇オームで。

——抵抗が高いほうがいいんですか、低いほうがいいんですか。

前田　高いほうが純度が高いという意味なんです。

——そうすると、抵抗値二〇〇オームといったらもう充分……？

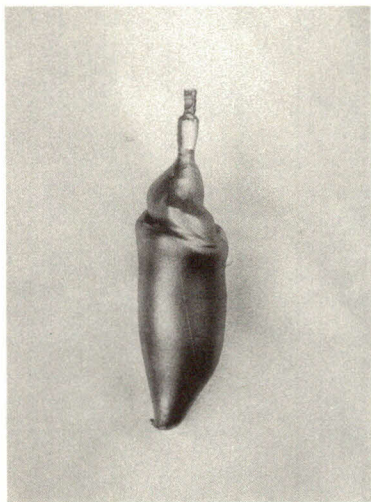
前田　ああ、充分です。充分すぎます。立派なもんです。たとえば、交流を直流に直す整流器が

石英管の中に析出した高純度多結晶シリコン

ありましょうが、それに使うものでも、そんなに高い抵抗値はいらないんです。

――二〇〇オームで大成功。

前田　それで非常な自信を得まして。それじゃ、もっと念を入れてやろうってんで、フローティング・ゾーンの方法で何回も何回も精製して、非常に純度の高い単結晶をつくったんです。抵抗値を測ったら、なんと一〇〇〇オームも出ちゃったんです。あなた、一〇〇〇オームを超えたんですよ。

生産は急増、しかし需要がない

前田　自信を持って意気揚々と通産省に行った。「できました」というわけです。そしたら、あんた、けんもほろろだもんね。

多結晶シリコン(左)はフローティング・ゾーン装置(右)で単結晶にされる

――だって、通産省が国産を奨励したんでしょ。

前田　そうですよ。今でも、あたしゃ、恨みに思ってるの。そのオッサンの名前言うのはカメラがあるから避けますがね。そのオッサンが「日本の国産品なんか使えるか」とか「そんな測り方が当てになるか」とか言って、まったく取り合ってくれないんですわ。そんな高純度のシリコンが日本でできるなど、信じろというほうが無理だというんですね。

――信用してもらえなかった。

前田　信用してもらえない。通産省の電気試験所はそんなわけで駄目。それならと本庁に行ったら、もう試験所から話が行ってるから、「そんな国産品が使えるか、駄目だ」と。

――測りもしないで。

前田　測りもしないし、手に取って見ようともしない。まるで詐欺師扱いなんだ。もう、腹が立って情けなくて。

――しかし、その通産省はけしからんですね。

前田　もう、けしからんなんてもんじゃない。国産を推進すべき役人が、一皮めくると根っからの舶来主義でしたから。まったくけしからん話なんですよ。

――実にけしからん。

前田　これは私の恨みつらみですから、あなたに憤慨していただくのはありがたいんですが、まあ、あなたが興奮することもない。でも、あのときほどがっかりしたことはないですよ。執念深いと言われようが、私は今でも恨みに思っている（笑）。

――お言葉ですが、通産省はまったくけしからん。その小役人はなんという男でしたか。

前田　その後大学教授か何かに天下ったつまらん男ですよ。ああいう奴がいるから、日本の半導体産業はなかなか自立できなかったんです。

――その名前は？

前田　武士の情けです、名前はいいません。

――そうですか、残念。

前田　しかしね、それは通産省だけじゃありませんでした。日本のメーカーに持ち歩いていろいろ売り込んだんですが、やっぱり半信半疑なんです。当時はまだ測定の方法が各自バラバラで、共通の規格がなかったんですね。

――測定法すら？

前田氏が意気揚々と単結晶シリコンを持ち込んだ電気試験所

前田　まだ確立してなかったんです。今言ったように、どこを測っての抵抗率かとか、真ん中なのか横なのか、断面の何分の一のポイントを測ったのかとか。国産品というだけで、初めっから信じるつもりがないんですね。

――舶来コンプレックスですね。

前田　そう。そのなかで一番評価してくれたのが、やっぱりソニーでした。井深さんや塚本さんは「できましたか、さっそく使ってみましょう」と言って、どんどん使ってくれました。あの会社には、舶来コンプレックスがまったくありませんでしたね。あとは駄目でしたね。通産省から大メーカーまで。舶来崇拝、国産蔑視の塊でした。

日本のシリコン産業を振り返ってみると、昭和三〇年～三四年が高純度シリコンに着手し、

なんとか国産化しようと努力した第一期時代。昭和三五年～四〇年が第二期で外国からも技術を導入して需要を開拓し、経営の安定化を模索した時代である。高純度シリコンの需要が急増したのは、電卓にＩＣが使われるようになる昭和四二年以降で、トランジスタメーカーがまだゲルマニウムに固執していた昭和三〇年代は、どうしても半導体用シリコンの需要が伸び悩んだ。

前田　私たちの会社は、チッソ電子という名のシリコン専門メーカーとして出発しました。新日本窒素の子会社でした。ところが、会社をスタートさせたのに需要がない。昭和三四年頃には年産二～三キロだったシリコン生産量が、翌三五年には二三〇〇キロに一気に増えました。二三〇〇ですよ、一年で。

――二～三キロから一気に二三〇〇ですか、一年間で。

前田　それも、ぜーんぶ、うちの生産ばかりで。

――それくらい需要が爆発的に増えたんですね。

前田　と、とんでもない。需要はまったく増えずに、生産だけが増えたんです。一気にね。

――それは大変だ。

前田　絶望的ですよ。半導体メーカーが使い始めたから増えたんじゃなくて、使ってくれなくてたまってしまったんですよ（笑）。悲劇的なんだ、まったく。

――需要じゃないんですか。

前田　需要は増えずに、生産量だけが増えた。

――じゃあ、前田さんは上がったりですね。

前田　こちらはモノがいいんだから、いいものは売れると信じてやったんですがね。ところが、

当時はまだゲルマニウム全盛時代で、シリコンの需要がほとんどなかった。ゲルマニウムトランジスタでは日本は世界有数の生産国になっていたんですから、このゲルマニウムがシリコンに移行すれば大変な需要になると踏んだんですがね。シリコンのほうがゲルマニウムよりはるかに特性がいいんですから、やがては確実にシリコンの時代になると考えたんです。しかし、甘かった。

――読みがはずれた。

前田　はずれていたわけじゃありません。現代ではシリコンが半導体の王様ですから。ただ早すぎたんですね、日本では。まだ、どこもゲルマニウムが売れているものですから、なかなかシリコンを買ってもらえなくてね。それで、私は外国に飛び出したわけです。

――海外セールスに？

前田　そう、セールスマンですよ。

最後の手段で海外セールス行脚

当時、トランジスタテレビを開発したソニーを除いては、シリコントランジスタを量産しているメーカーはなかったのである。そのソニーですらシリコンを買ってはくれたが、値段は厳しく抑えられ、しかも買ってくれる量はわずかであった。需要がないのに量産に成功したチッソ電子は、最後の手段として海外に需要を求めて開拓しなければならなかったのである。昭和三五年のことである。

前田　世界セールス行脚に出たんです。単結晶と超高純度多結晶の両方を持ってね。それからス

ライド、説明パンフレットなどをしこたま持って。第一回目は、ほとんど顔つなぎでしたから、すぐに翌年、今度はうちの和田昌三君を連れて二度目のセールスに出た。二人とも洋服、ネクタイ、ネクタイピン、靴、靴下、帽子と頭のてっぺんから足の爪先まで、ぜーんぶ国産品でまとめてね。歩くメード・イン・ジャパンでした。

――ラジオはソニー、カメラはニコン。

前田　全部国産品。こんないいものができるんだぞって、デモンストレーションですよ。英国あたりには沢山、新興の半導体屋がありましたから、そこに行きますと触りよるんです。背広の生地を、これ、日本のもんかいって。

――背広を?

前田　ああ。目をむいてね。それほど向こうは背広に自信があった。背広というか布に。だから、わざと日本製をこれみよがしに、日本だってこんないいものができるんだぞと。ネクタイは純絹のやつをたくさん持っていきましたな。純絹のネクタイとネッカチーフを、これはと思うところには配るわけです。

――まるで国産品の歩く見本市ですね。

前田　それだけじゃない。沢山のスライドを持って行ったんだ。それも、製品紹介のスライドだけじゃなくて、ジャパニーズ・ゲイシャだとか、日本美人のポートレート。でないと、人が集まってこんのです、技術者が。芸者から始めると、お固いエンジニアも人の子で、ダーッと集まってくる。それから、おもむろにシリコンを始めるんです。夜店のバナナ売りじゃないけれど、人を集めなきゃ話にならんかったです。

——まず、ゲイシャガールを見せて。

前田　スライドでね。それから始める。それで、写真をパチパチ撮って、あとで全部送ってやる。日本のカメラとフィルムは、こんなに優秀だぞと。

——それも宣伝ね。

前田　ああ、それも宣伝。日本のものはいいんだ、ということを宣伝することから始めたんです。メイド・イン・ジャパンのイメージを変えることが大切でした。

——そのセールスも、なけなしのお金で世界を回られたんでしょ。

前田　そりゃ、ものすごい貧乏旅行ですよ。電報代にもことかきましてね。電報代がかさんで、破産しかけましてね。それで苦肉の策で、通信文の略語を考案した。

——語数を節約するために。

前田　そう。これで電報代が非常に節約できた。まあ、ケチ臭い話ですが、だいたい物事っていうのはそういうもんですがね(笑)。それで、ここまで来たんですよ。笑っちゃいけない(笑)。

——それで、前田略語ですか。

前田　そう。チョクラルスキーがCZ、フローティング・ゾーンはFZ、それから切ったままのウエハーはソード・ウエハーでSW、ポリシュド・ウエハーつまり研磨済みのウエハーはPW、エピタキシャル・ウエハーはEW、ディフィジット・ウエハーはDWとね。それが、後に日本中で共通の名称になりました。

——ほう。

前田　今では世界の業界用語ですよ。電報代が足りないから、結局、私が名付け親になっちゃっ

た（笑）。

この旅について行ったのが、前田さんの部下の和田昌三さん（現在フジミ電子工業専務取締役、五六歳）であった。水俣の実験プラントから野田の工場建設まで、一貫して前田さんの分身としてチッソ電子の基盤を実質的に築いた技術者の一人である。

和田　前田のカバン持ちでアメリカを回りました。

――どことどこをめぐったんですか。

和田　当時はやはり東海岸のメーカーを中心に、東海岸を回りました。

――シリコンのインゴットを持ち歩いたんですか。

和田　いえ、厚さコンマ三ミリのウエハーにして売り歩いたのです。

――評価はどうでしたか？

和田　ＩＢＭでは、技術屋さんに私たちのウエハーを空中に投げられましてね。なんと人をバカにしているんだろうと思ったんですが、それが評価の方法だったのです。空中に投げられたウエハーがヒラヒラヒラと舞うようにして、二メートルくらい先に落ちますね。それで割れなければ、「お前のところのウエハーはなかなかいいじゃないか」というわけですね。

――やはり、欠陥のない結晶は割れにくいのですか。

和田　そうですね。いい結晶は割れにくい。欠陥があると、すぐポロンと割れちゃう。それで、ＩＢＭのエンジニアはまず空中に投げたんですね。

――しかし、最初は？

和田　ドキッとしましたよ。はるばる太平洋を渡って来たのに、人のウエハーを投げるなんて、

日本人をバカにしているのかと一瞬考えたりして。投げる瞬間まで、何をするのかわからなかった。

——それが、ポイと投げられて、ウエハーが空中を舞ってヒラヒラと。

和田　下に落ちても割れなかった。狐につままれた思いでしたけど、まあ、そういう試験もあるんだということを教えていただきまして、頭に上った血も治まったというわけです。

和田昌三氏

——それで評価は？

和田　割れなかったので、ＩＢＭでは合格ということにはなりました。

——もし割れていたら？

和田　お呼びじゃない、帰れ、じゃなかったでしょうかね。

こうして、日本製のシリコンは本場のアメリカで認められ、次第に浸透していったのである。そして、輸出をすることで技術が磨かれ、日本の半導体メーカーがシリコンを必要としたときには、国内に高品質のシリコンをつくる専門メーカーがあったのである。

国産品を口では推奨しながら、苦闘の末にできた国産品を冷やかに扱った役人技官の態度に対する前田さんの怒りは、三〇年経ってもおさまらないようであった。しかし、その人物こそが通産省工業技術院電気試験所に電子部を新設し、電子産業振興法の成立に努力し、日本にエレクトロニクス産業の種をまいた、いわば電子立国日本の方向を決した人と褒めたたえる人もいるのである。前田さんが

電気試験所でつれなく扱われたのは、当時新製品と称してさまざまな国産品を持ち込み、電気試験所のお墨付きをもらおうという人たちが多かったからだと技官の行為を弁護するのである。しかし、一般的には国産技術に対する蔑視の風潮は、国内に広く浸透していたようである。東北大学学長の西澤潤一さんも、そうした体験をした一人であった。

同胞の成果を認めない日本人

トランジスタの研究をやれと恩師の渡辺寧教授から言われた西澤さんは、さっそく研究を始めようとしたものの、肝心のゲルマニウムが手に入らなかった。そんなときたまたま読んだ文献に、トランジスタは黄鉄鉱でも可能だと書いてあった。これは間違った記述であったが、それを知らない西澤青年は、この論文に触発されて黄鉄鉱を材料にして研究を始めてしまうのである。だが、やってみると、黄鉄鉱はハンダごてを当てただけでも硫黄分が溶け出して、結晶表面に穴がボコボコあいた。二本の針を立てるどころではない。

結局、トランジスタの研究をあきらめて、ダイオードの研究から始めることになる。穴だらけの結晶でも、一本針なら立てることができたからである。

しかし、これが幸いした。結局、PN接合の研究をすることになるのだが、その結果、P型層とN型層の中間に絶縁層(Isolation)をつくってやると、高い電圧にも耐え、しかも整流特性の非常によいダイオードができたのである。彼はこれをPINダイオードとして特許を申請し、認可された。昭和二五年のことである。ほぼ同じ頃、アメリカでもGEから同じ特許が申請され、成立していた。彼は

さらに、結晶内部に絶縁層を形成させる方法として理論的に可能な四つの方法も特許として取得するのだが、その一つが伝導物質をイオン化して結晶表面から撃ち込む「イオン注入法」であった。この三、四年後に、接合トランジスタの発明者ウィリアム・ショックレーもアメリカで特許出願をして認可されるが、イオン注入法の理論特許は西澤さんが世界で一番早かった。

西澤　PINダイオードの特許を私が出したちょうど一八日後に、GEが出していた。

——西澤先生のあとに？

西澤　そう、一八日後にね。

——そうすると、日本には特許が先に成立しているから、PINダイオードの日本上陸は阻止できるわけですね？

西澤　そうです。ところが、私は特許事情にうとかったものですから、最初のうちは日本企業が莫大な特許料をGEに払って、PINダイオードを製造していることを知らなかったんです。だから私は、GEに対して異議の申し立てをしませんでした。

PINダイオードは整流特性が優れ、高い電圧に耐えることができたので、数千ボルトの交流を直流に変える整流回路用の素子としては抜群の性能を発揮した。したがって、工業用として産業界では広く使われたのだが、それを製造した会社はGEに莫大な特許料を払っていたのである。この事実を知った西澤さんは、日本では特許が成立している同じ技術をなぜ使わないのかと、不審に思って調べ始めた。

西澤　話を聞いてみると、日本の会社がなけなしのドルを外貨審議会に申請して莫大な特許料をアメリカに支払っているというんですね。なーんだ国内で同じ特許が成立しているのに、

もったいないことをするもんだと思って、悔しまぎれにあちこちでその話をして歩いたら、通産省から外貨審議会に出向されていた武田さんとかおっしゃる方が、私の話を外貨審議会に取り次いでくださったらしいんですね。審議会のほうでもいろいろ調べたらしいんですが、当時は日本電気、東芝、日立、それにソニーも外貨をもらって特許契約していたんですね。

――なるほど。

西澤　ちょうどそんなとき、もう一社富士電機が同じ特許を買いたいというので、たまたま外貨申請をした。それで外貨審議会は、富士電機に対しては外貨の割当てを否決して、ドルを売り分けないという決定をしたんですね。

――なぜ？

西澤　外貨審議会は一切理由を言わないんですがね。きっとひそかに、ＰＩＮダイオードについては日本にも特許があるから、ＧＥに払わなくてもよろしいという指導があったんでしょうね。それで、富士電機が特許料を払わずにＰＩＮダイオードを製造し始めようとしたものですから、それまで特許契約をしていた会社も、じゃあわれわれも払うのはやめようということになって、契約更新時に契約を破棄しちゃった。それで、ＧＥもだいぶ怒ったらしいんですけど、調べてみると、確かに日本では私の特許が成立していたんで、これはしようがないということになったんですね。

――じゃあ、今度はその莫大な特許料を西澤先生がもらえる番ですね。

西澤　それがまったく、全然くれませんでしたよ。

——えっ。

西澤　くれなかったですね。初めは欲得ずくよりも、なんてもったいないドルを払うんだろうと思って騒ぎだしたことなんですが、考えてみりゃ、同じ特許が日本で成立しているんだから、われわれだって幾らかいただくのが筋だと考えるようになりまして。別に私腹を肥やす意味じゃなくて、研究の再生産といいますか、いただいた特許料でさらに新しい研究を進めることもできますから、これはもらうのが当然だと考えるようになったんですね。

西澤潤一氏

——それは当然ですね。

西澤　当時われわれは、そうそうたる大会社にいろいろなことを言いに行ったんですが、会社の人たちが言ったことは、今なお鮮明に覚えているんです。

——何だと言いましたか。

西澤　「日本の会社が日本人の特許なんかに契約するとでも思っているのですか」と言うんですね。

——日本のメーカーが?

西澤　はい。日本の会社が外国の有名会社と特許契約をするのは、特許もさることながら、それより大事なことは製品を入れる箱にRCAの名前が入ることだ。「パテンテッド・バイ・RCAを客がありがたがって、買ってくれるからなんだ」というわけです。

――パテンテッド・バイ・西澤じゃ……。

西澤　日本の渡辺教授や西澤の特許でつくっているなんて書けば、売れるものも売れなくなる。アハハハハ。

――宣伝価値がないと。

西澤　そういうことですね。「だからわれわれ日本企業は、特許料というのを宣伝費用と考えている」と言われましてね。エヘヘヘ。

――思いもよらない論理の不意討ち。

西澤　ええ、大変ショックを受けて帰ってきたんです。それまで私は、日本には天然資源がないうえに、これだけ沢山の人口をかかえているんだから、新しい科学技術開発をやって食っていくしか方法がないんじゃないかと思っていたものですから。大企業の考えには、大変な衝撃を受けたわけです。

――で結局、特許料は踏み倒されたのですか。

西澤　さあ、どう説明しましょうかね。先輩教授が非常に熱心に動いてくださって、企業は特許料を払わんけれども、恩師の渡辺寧先生がちょうどご退官が近かったので、ご定年の記念に財団法人を設立して産学協同の研究組織をつくるという名目で、七〇〇〇万円のお金を寄付してくれました。

――企業は本来なら、外国にいったいどのくらい特許料を払わなければいけなかったんでしょうかね。

西澤　向こうに払っていたのは、一年分だって七〇〇〇万どころじゃありませんでしたから、ず

いぶんディスカウントさせられたことになりますね。アハハハハ。

この七〇〇〇万円を財源にして設立したのが、財団法人半導体振興会半導体研究所であった。西澤さんは日本人の模倣性については、日本人に独創性がないのではなく、同胞の成果をけっして認めようとしない点が問題なのだとおっしゃるのである。

西澤　日本の企業は、日本人が生み出したものを取り上げて工業化しようとしませんでしたね。八木アンテナしかり、マイクロウエーブしかり、フェライトマグネットしかりですね。世界に誇れる日本人の独創というのは、けっして少なくないんです。ところが、残念なことにそれが日本で工業化されたことがない。希有なことでした。

――同胞の成果を評価しない？

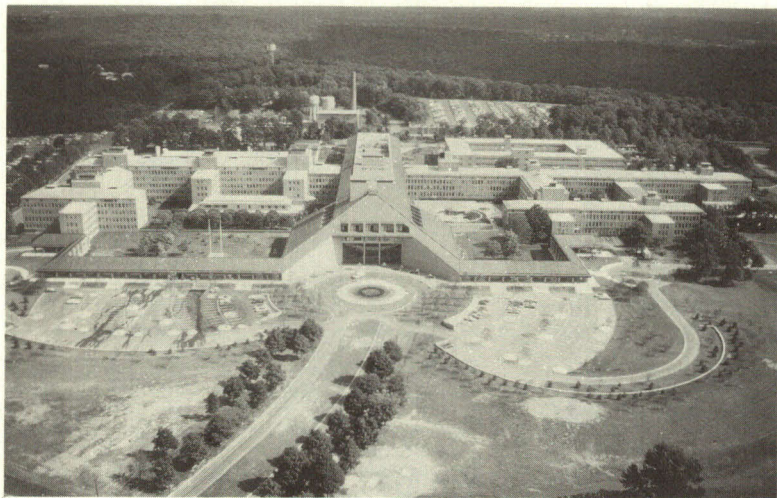
西澤　評価しないし、工業化もしない。だもんだから、同じ技術が日本で生まれていながら、外国がやるまでその価値に気がつかない。外国がやってから日本が真似るわけですよ、不要な金を払ってね。だから、こんなことになっちゃう。日本人が発明して日本で工業化につながったのは、ビニールとグルタミン酸ソーダくらいなもんでしょう。とにかく、本当に指折り数えるほどしかないんです。

――残念で不幸なことですね。

第4章 シリコンバレーの一粒の種

頭脳の拡散と新しい人材発掘

一九四七年にAT&Tのベル研究所で発明されたトランジスタの特許は発明者たちの名で申請され、それをAT&Tが一件一ドルで買い上げた。労働協約でそう決められていたからである。したがって、トランジスタに関する基本特許はもちろん、関連特許もすべてAT&Tが所有していたのである。これを一九五二年四月に有料で公開した。トランジスタ産業に参入したい企業を集めて技術講習会を開いたのである。受講料は一社二万五〇〇〇ドル。トランジスタの原理から製造法の実際、関連技術の詳細まで、当時ベル研究所とウエスタン・エレクトリック（WE）社の科学者や技術者を総動員してのセミナーであった。集まった企業はレイセオン、テキサス・インスツルメンツ（TI）社など二八社、参加人員はおよそ二〇〇人。四年後の一九五六年には、二重拡散法について同じような有料セミナーが開かれるが、ベル研究所で理論を学び、WE社で技術の実際を身につけた技術者たちが企業に帰り、それぞれが産業化を模索したのである。やがてトランジスタの製造が大きな利益を生むようになると、各企業はベル研究所の有能な人材を獲得しようと動き出す。一方、研究者のなかには、ベル研究所を出て自らの力でトランジスタの企業化をしたいと考える人たちもいた。こうしてトランジスタ技術を生み出したベル研究所の技術が、それを生み出した頭脳ごと全米に広く拡散していくのである。

まず、二人の偉大な科学者がベル研究所を退社した。接合トランジスタの発明者ウィリアム・ショックレーと、結晶の権威で成長型トランジスタの発明者ゴードン・ティールであった。ショックレー博士は退社して西海岸でショックレー半導体研究所という会社を設立し、ティール博士はTI社の社

先端技術のメッカ、ベル研究所

長パトリック・ハガティに説得され、半導体部門を開設する役目を引き受けた。当時のTI社は、テキサス州のダラスで石油掘削機器の製造を専門とする小さな会社であった。まず、ティール博士の話に耳を傾けてみよう。上巻では単結晶製造と成長型トランジスタの開発について、貴重な証言をしてくれた科学者である。

ティール　私は一九五三年にベル研を退社して、TI社に移りました。実はテキサス州のダラスには私の実家があり、両親や親戚の近くに住みたいのも理由の一つだったと思います。TI社から要請されたことは、半導体専門の研究所をつくることでした。当時TI社には開発部門はありましたが、研究所がなかったものですから、その新設を頼まれたのです。

――なるほど。

ティール　だからダラスに着くとすぐ、い

間もなくベル研究所を去ろうとしていたショックレー、ティール両博士

ろんな大学の人たちに面接をして人材を集めました。こうして彼らと新しい製品の開発に着手し、一九五三年五月、新しいシリコントランジスタを発表したんです。これは世界で初めてのことで、ほかの人たちがシリコントランジスタを製造する何年も前のことでした。当時はTI社は大変小さな会社で、従業員が一七五二人でした。現在は八万五〇〇〇人もの従業員が世界各地で働く巨大企業に成長しましたが、その最初の出発点となったのは、シリコントランジスタの成功でした。

——どうしてゲルマニウムではなく、シリコントランジスタを？

ティール　シリコンは周期律表の上では、ゲルマニウムに大変近い物質でした。ただゲルマニウムと比べて高い温度

でも動作するという特徴がありまして、それが大変重要だったからです。ティール博士の生まれ故郷は、テキサス州のダラスであった。そこには彼の父母が暮らしていた。博士がTI社の要請を受け入れた理由の半分は、TI社がダラスにあったことだと言うのである。

ティール博士とその部下たちが最初にあげた業績は、ラジオ用のトランジスタの開発に成功し、世界初のトランジスタラジオを発売したことだった。ティール博士の指導でシリコンによる成長型トランジスタを量産し、それを使った世界初のトランジスタラジオが爆発的にヒットしたのである。トランジスタで大衆商品を使った最初のケースである。この成功で、トランジスタの企業化が一気に加速されていくのである。

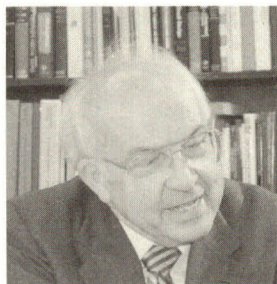
半導体の研究部門を新設するために集めた人材のなかに、やがてティール博士のあとを継いで研究所長になった現在テキサス大学工学部電子工学科教授のウィリス・アドコックさんがいた。私たちが彼の話を聞いたのは、テキサス大学の教授室であった。TI社の研究所長を一九八六年に退社したあと、請われてテキサス大学の教授に就任していた。彼は親切にも、さまざまな文献や実物を用意してくれていた。TI社製のトランジスタを使った世界で最初のトランジスタラジオと、そこに使われた成長型トランジスタ。ジャック・キルビーたちが実用化したいろいろなICチップなど。

放送の第二回目「トランジスタの誕生」では、ソニーがラジオ用のトランジスタをつくるために七転八倒するエピソードが出てくるが、あそこに登場したトランジスタが成長型トランジスタであった。成長型トランジスタを復元試作するためにトランジスタの実物を手に入れる必要があったが、それを提供してくれたのがアドコック教授であった。

アドコック　ゴードン・ティール氏がTI社の最初の研究所長に就任すると、研究員をスカウト

アドコック氏

するために母校にやって来ました。当時、私はブラウン大学を卒業して石油会社に就職していましたが、私の恩師たちがゴードン・ティールに「アドコックという卒業生は石油会社に勤めたが、彼は電子工学で修士号まで取った人間なので、石油よりエレクトロニクスが大好きな人間なんですよ」と言ったそうです。そこでゴードン・ティールが私を訪ねて来て、熱心に誘ってくれました。

――当時のＴＩ社は？

アドコック　ＴＩ社は非常に小さな会社で、売上規模が年間たかだか二五〇〇万ドルくらいでした。ゴードン・ティールの誘いに一も二もなく乗ったのですが、石油会社の上司は「そりゃ残念なことだが、ＴＩという会社を知っているかい。ＴＩ全体でもこの研究所より小さいんだぜ。君はトランジスタに恋しているようだから、まあＴＩに行って、トランジスタ病が治ったら、また戻って来いよ」と言ってくれました。もちろん私は、二度と戻りはしませんでした。このようにして、まったく偶然のチャンスから私のＴＩ人生が始まったのです。一九五三年のことでした。

――何をおやりになったのですか。

アドコック　私の仕事はシリコン単結晶の製造装置を開発することでした。シリコンは、融点が一四〇〇度を超える、扱いの難しい物質でした。そんな高い温度だと、何もかもが溶けてしまいます。当時、デュポン社から買った多結晶シリコンは、一グラムが一ドルもする非

常に高価なものでした。だから、小さなビーカーにシリコンを一杯入れるたびに、二五ドルかかりました。もし精製がうまくいかないと、二五ドルが瞬時に消えてしまうわけで、零細なTI社では大変な損失になりました。

——そんな小さな会社が、トランジスタをなぜ始めるんですか。

アドコック　パトリック・ハガティは、石油産業のほかに半導体産業へ参入する機会を狙っていたのです。TI社が石油関連企業だったことが大変幸いしました。シリコン単結晶の製造にとってつくづくラッキーだったと思うことは、石油産出地帯のテキサスには石油採掘の副産物としてヘリウムが豊富にあったということです。

——なぜ、ヘリウムが大事なんですか。

アドコック　シリコンの精製は、酸素が存在する空気中ではできません。酸化してしまうからですね。したがって、精製を行うときには、不活性な環境をつくり出さなければなりませんでした。多くの会社は水素を使用しました。水素は炉の中の酸素と化合して水になり、酸素を完全に除去してくれるからです。あるいは、窒素とかネオンといったような不活性ガスを使ったところもあります。ところが、テキサスではヘリウムが非常に安価に大量に入手できたのです。TI社がシリコンの精製で早くから成功したのは、ここに秘密がありました。コストを気にせずに、大量のヘリウムをじゃんじゃん使えたことでした。文字通り容器をヘリウムであふれさせることもできました。このようにして、われわれは大量のシリコンを精製でき、大型の単結晶を引き上げることができました。

——なーるほど。

アドコック　ヘリウムの効用はまだありました。シリコントランジスタをつくるときはガス拡散法を使うのですが、シリコンウエハーに必要な不純物（伝導物質）を添加するときも、ヘリウムガスが大いに役に立ちました。ヘリウムガスに不純物の蒸気を混ぜて、炉に流せばよかったのです。

――なるほど、二重拡散技術に必要な不活性ガスが豊富にあったわけですね。

アドコック　だから、会社が半導体事業に着手してから一年も経たないうちに、シリコントランジスタが完成しました。そんなわけで、ＴＩ社が他社に先駆けてシリコントランジスタの分野で大きな成功を収めたのも、あり余るほどのヘリウムガスに秘密があったのです。

――なるほど。

アドコック　シリコンのプロジェクトが成功し、それが評価されて私の地位も上がり、やがてゴードン・ティールのあとを継いで研究所長にまでなりました。同時に経営陣の一人として大いに働きました。ＴＩ社には勤続三五年もの長い間働き、一九八六年に退職しました。私がＴＩ社で働いている間、会社に対して最も貢献したことは、集積回路の発明者であるジャック・キルビーを発掘して採用したことでした。彼の発明こそが、ＴＩ社を半導体メーカーとして不動の地位にのし上げたのだと私は思っています。

ティール博士のあとを継いで研究所長に就任したアドコックさんもまた、人材発掘に奔走した。彼が選んだ人材のなかに、集積回路の発明者ジャック・キルビーがいたのである。彼の発明で、ＴＩ社は小さな一石油機器メーカーから急速に世界的な半導体メーカーに脱皮していく。アドコック教授は、自分がＴＩ社だけでなくアメリカの半導体産業に対して果たした最大の功績は、ジャック・キルビー

という希有な人材を発掘したことだと言うのである。

ベル研から数十人を引き抜いた男

一九五二年にベル研究所で開催された有料講習会に、ミルウォーキーの電気会社セントラル・ラボから派遣されて参加していたキルビーさんは、ミルウォーキーに戻ってからトランジスタ製造を開始した。最終目標が補聴器の製造販売であった。実際につくったのは、ベル研究所の開発した成長型ではなく合金型であった。補聴器はできたが、セントラル・ラボの幹部たちはそれ以上のことには興味がなかった。半導体技術そのものに関心がなかったのである。

キルビー　私が働いていた会社は、半導体にはあまり興味を持っていませんでした。しかし、ベル研の講習会で非常な刺激を受けたので、私は半導体技術をもっと究めたいと思いました。そんなわけで、一九五八年頃にはセントラル・ラボを退社して、ほかの会社に移ろうと思っていました。

——どんな会社に？

キルビー　ＩＢＭ、モトローラ、ＴＩの三社です。いずれも面接しましたが、結局ＴＩを選びました。

——なぜ？

キルビー　そうですね、当時はＴＩ社が米国でおそらく一番成功している半導体企業だったと思います。同社は世界で最初にシリコントランジスタの製造に成功していました。また、Ｉ

BMのために非常に大量の合金型トランジスタを生産していましたし、最初のポケットトラジオをつくっていました。当時の半導体メーカーのなかでは、ずば抜けて成長し続けている会社だと思ったのです。

——なるほど。

キルビー　それに、固体回路と言いますか、あるいは回路集積と言うんでしょうか、現在で言う集積回路の概念ですが、当時で言う電子機器の超小型化に私は非常に関心がありまして、TI社が私自身と同じくらいそれに関心を持っていたのです。モトローラもいくらかは興味を持っていました。IBMは自分たちが敷いた路線以外はまったく関心がなく、異なった考えにはあまり興味を示しませんでした。そんなわけで、私はTI社を選んだのです。

ベル研究所からスピンアウトした大立者がもう一人いる。モトローラ社の半導体部門を築き、後に破綻に瀕したフェアチャイルド社の再建に腕を振るったレスター・ホーガン博士である。

第二次世界大戦後にリー・ハイ大学の大学院で物理学の博士号を取得し、ベル研究所の物理研究部門に入所。そこでマイクロウエーブに関する世界的な発明をして有名になった。三年間ベル研究所勤めをしたあと、一九五三年にハーバード大学から招へいされて教授に就任。学究生活に満足しているところに親友が訪ねてきた。

ホーガン　一九五八年のことですが、モトローラの副社長をしていた親友から、モトローラの半導体部門の設立に力を貸してほしいと頼まれました。親友は五年間もその仕事に携わってきたのですが、成功していなかったようです。一九五八年の売上が三〇〇万ドルで、損失も三〇〇万ドル。この状況が続くようなら、半導体部門を切り捨てると理事会に宣告され、

ホーガン氏

苦境に立っていました。

——それでは、火中の栗を拾うようなものですね。

ホーガン　そうです。だから、私の返事ははっきりとノーでした。それでも彼は、粘り強く私に思い直してくれないかと迫りました。二週間のクリスマス休暇を利用して、家族ともどもフェニックスに来るように強く要請され、私は結局熱意にほだされてモトローラ社のあるフェニックスに行ったのです。

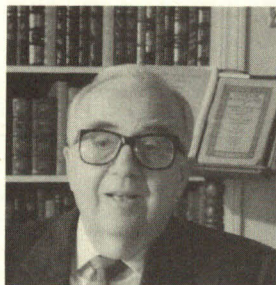
——そして？

ホーガン　私も家族も、フェニックスが大変気に入りました。そんな私たちを見て、親友はもう一度正式にモトローラの半導体部門を助けてほしいと要請したのです。私は承諾しました。でも、ハーバードの教室には九人の学生をかかえていましたので、彼らを見捨てるわけにいかず、その年の六月までは大学で学生たちの面倒を見ました。親友の申し出を承諾したのは一月でしたが、実際にモトローラに移籍したのは六月以降になりました。

——モトローラに移るために、特に方針を考えましたか。

ホーガン　私が考えたことは、何よりも幹部を入れ替えることでした。すべては人材の優秀さにかかっているわけですから、優れた人材を集めることから私の仕事が始まりました。

——どうなさったんですか。

ホーガン　優れた人材をベル研からスカウトすることにしまし

た。私はベル研究所の人たちを相当熟知していましたので、そこから優秀な人々を根こそぎスカウトすることにしました。

――根こそぎとは、一〇人とか二〇人ですか。

ホーガン　いえ、スカウトした人数は全部で六〇人でしたが――。

――えっ、六〇人もですか。

ホーガン　そうです、六〇人です。そのほとんどがベル研の科学者や技術者でした。ベル研でもトップレベルの研究者でした。なにしろ当時は、ベル研のほかにはスカウトに値する半導体技術の専門家はいなかったのですから。

――結果は？

ホーガン　モトローラは見違えるほどの急成長をとげました。私がモトローラに移ってから一四か月後には、モトローラ半導体部門は史上初めて黒字を計上できました。しかも、それは一〇年に及ぶ大飛躍の出発点に過ぎませんでした。これ以後一〇年にわたって、年間平均四〇パーセントの成長率を記録したんです。

――すごい。

ホーガン　こうしてモトローラ社は、押しも押されもしない半導体メーカーとして飛躍をとげたのです。

スカウトした六〇人の大半がベル研究所の研究員だったというホーガン博士の話に耳を疑ったが、収録テープをもう一度聞き返してみても、六〇人に間違いがなかった。破綻寸前のモトローラ社の半導体部門に大軍団で乗り込み、経営を立て直したばかりでなく、モトローラ社を世界屈指の半導体メ

ーカーに育て上げた博士の手腕と名声は全米に知れ渡った。やがて一九六〇年代末から七〇年代にかけ、彼がフェアチャイルド社の再建を依頼され、このときもホーガン軍団と呼ばれる部下たちをモトローラ社から連れて乗り込むのである。

ショックレー博士が蒔いた一粒の種

さて、すでに何度も名前が出てきたフェアチャイルド・セミコンダクタ社。現代の半導体技術の多くを生み出したベンチャー企業、アメリカン・ドリームを体現したような夢の会社であった。では、その誕生とその後の軌跡をたどってみることにしよう。

サンフランシスコの市街からインターステイツ・フリーウェイ一〇一号線に乗って南に下ると、やがて車の前方に広大な視界が開けてくる。三〇分も走るとサンマテオの町、さらに走るとパロアルト、マウンテンビュー、サニーベール、サンタクララなど、幾つかの町を経てサンノゼ市に至る。サンマテオからサンノゼまでの距離はおよそ四五キロ。これがシリコンバレーと呼ばれる一帯である。

シリコンバレーをフリーウェイに乗って走ってみると、見渡すかぎりの平地でバレーが意味する谷間とはとうてい思えないが、図5のような地図で見ると、そこがディアブロ山脈とサンタクルツ山系に挟まれた広大な平地であることがわかる。図右下の山々がディアブロ山脈で、左下の山々がサンタクルツ山系である。

地図に番号をつけて説明しよう。①がゴールデンゲートブリッジ（金門橋）で、左側の太平洋とサンフランシスコ湾を結ぶ出入口。②はサンフランシスコの市街。サンタクルツ山系とサンフランシスコ

図5　シリコンバレー
①金門橋
②サンフランシスコ市街
③サンマテオ
④パロアルト
⑤マウンテンビュー
⑥サニーベール
⑦サンタクララ
⑧サンノゼ
太平洋
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧

広々とした果樹園地帯だったサンタクララバレー

湾の接点につくられた都市で、急な坂の多い町である。ここからインターステイツ・フリーウェイ一〇一号線に乗って、ロサンゼルス方向に南下する。右側には湾岸の風景が流れていく。遠くに見えていた水平線が消えて、岸辺の湿地が現れる。その湿地もやがて遠くなり、車が③のサンマテオの町を通り過ぎると、左方向遠方にディアブロ山脈がかすみ、右方向には丘陵地のような低いサンタクルツ山系、両山系にはさまれた平地をフリーウェイが一直線に霞の向こうに消えている。サンマテオを過ぎて、一八キロで④のパロアルト。さらに一三キロ走って、⑤のマウンテンビューと⑥のサニーベール。さらに九キロで⑦のサンタクララ。さらに五キロ走って、⑧の大都市サンノゼ市に着く。

サンマテオの町からサンノゼ市まで四五キロ、フリーウェイで通過した町以外にも幾つかの町を入れて、一〇以上の町が隣合っている盆地がシリコンバレーである。もともとこの一帯は、

地図上ではサンタクララバレーと記されている。一九五〇年代後半からこの一帯に電子関連産業が発達し始めた。現在は大小四八〇〇社の電子関連企業がひしめいているが、それらが直接間接に半導体に関連しているため、人々がシリコンバレー（シリコンの谷間）と呼ぶようになった。

ここに一枚の写真がある。戦後間もなくの頃に撮影されたサンタクララバレーの様子である。おそらく、サンタクルツの山裾からディアブロ山脈を望んで撮った写真であろう。数軒の農家の向こうに見える畑は、葡萄や杏などの果樹園である。春先だったのか、咲き乱れる白い花が、はるか彼方のディアブロ山脈まで続いている。大きな川もなく湖もなく、水源は唯一地下水である。こうした比較的ドライな土地と戦いながら、ここを果樹園に変えていった農民のなかには、戦前アメリカに移民した日本人一世たちも多くいたという。

このように牧歌的だったサンタクララバレーに半導体産業の種を蒔いたのは、接合トランジスタの発明者ウィリアム・ショックレー博士であった。一九五四年、ベル研究所を退社した博士は、生まれ故郷のマウンテンビューに帰ってきた。トランジスタ製造会社をつくるためであった。そこには博士の母が住んでいた。接合トランジスタを協力し合って実現した二人の先覚者、ウィリアム・ショックレーとゴードン・ティールの両博士は、奇しくも同じ時期に生まれ故郷に帰ったのである。一人がテキサスのダラスに住む母のもとに、もう一人が西海岸のパロアルト住む母のもとに。

マウンテンビューの東はずれを東西に走る州道八二号線。通称カミノ通りからサンアントニオ通りに入って北に二〇〇メートル。そこには一軒のオーディオショップがある。小さな木造平屋建て、建築番号三九一。これが、ショックレー博士が故郷に設立した「ショックレー半導体研究所」であった（二〇一ページの図6参照）。中に入ると、ほとんどの棚は無数の日本製品で埋まっていた。テレビ、V

ショックレー研究所のメンバーとともに祝杯を上げるその日のショックレー博士

TR、オーディオセット、テープレコーダー、コンパクトディスクなど。いずれも半導体を使った商品の数々であり、元をたどればショックレー博士たちの発明から始まった技術の恩恵にあずかっていた。店の支配人に聞いてみると、建物の外形は昔のままだが、中は持ち主が変わるたびに改装したので、おそらく当時のままになっているのは、事務室だけだろうということだった。事務室といっても三坪ほどの狭い部屋だったが、博士の部屋はここだったのだろうか。それは支配人も知らなかった。いずれにしても、これから始まる人間臭いエピソードの数々がここで繰り広げられ、ここからシリコンバレーの歴史が始まっていくのである。

ショックレー博士はトランジスタ理論を確立した功績で、バーディーン博士やブラッテン博士とともに一九五六年にノーベル賞を受賞するが、写真は博士が受賞の通知を受けた日の早朝、ショックレー研究所のメンバーがレストランに

集まって祝杯を上げたときの様子である。当時、研究所で働いていた研究者たちは全部で二五人。何人かがこの写真には写っていないが、ショックレー博士が全米からよりすぐって集めた秀才たちであった。テーブルの端に座っているのが、ショックレー博士。そして、後列の中央に黒い背広を着て横の人に話しかけている人物が、一九九一年五月に他界したロバート・ノイス。アメリカ半導体産業の父と呼ばれた人である。

彼は当時のショックレー研究所について「ショックレー研究所はとても小さい所で、当時でも二五人ほどしかいませんでした。しかし、メンバーはいずれも非常に才能のある人たちばかりで、大半が博士号を持っていました。だれもが半導体についての新しい技術や製造装置の開発など、先端的な技術に挑戦してやろうと野心満々でした」と語っている。後にショックレー博士に不満を抱いた若者たちが集団で博士のもとを去り、新会社を設立することになるが、そのときロバート・ノイスがリーダー役に推され、苦境のなかから次第に経営者としての頭角を現していくのである。

ロバート・ノイスは一九二七年、牧師の息子としてアイオワ州デンマークという小さな町に生まれた。一家は田舎の町を転々とし、やがてデモインの東五〇マイルにある小都市グリンネルに定住。少年時代は模型飛行機、無線機の組み立て、化学実験に熱中した。一家はけっして豊かではなかったが、少年は芝刈りや子守りに精を出して必要な金を稼いだ。しばしばアルバイトに使ってくれたのが、グリンネル大学の物理学部長グラント・ゲール教授であったが、彼に感化されて一九四五年グリンネル大学に入学し、物理と数学を専攻した。ノイス青年は多彩な才能に恵まれ、水泳の飛び込み選手として活躍するかと思えば合唱団で歌い、オーケストラでオーボエを吹き、ラジオでメロドラマの主人公を演じた。

恩師のゲール教授は、トランジスタの発明者ジョン・バーディーン博士とウィスコンシン大学時代の同級生であった。そのためゲール博士は、同級生が発明したトランジスタを教室でしばしば実演してみせた。このとき初めてトランジスタに接したロバート・ノイスは、真空管なしで増幅ができるという考えに衝撃を受けた。マサチューセッツ工科大学物理電子工学の大学院課程に進学したノイスは、そこで博士号を取得し一九五三年に卒業、フィラデルフィアのフォード・フィルコ社に就職した。フィルコ社はトランジスタ産業に本格的に参入しようとしていた。ここでノイスが一九五五年に書いた論文「ベース拡張突き抜け現象」が、全米物理学会で注目をあびた。翌五六年一月、突然ショックレー博士から電話がかかってきた。ベル研究所を辞めて、カリフォルニアで高性能トランジスタを開発製造する会社を設立する計画を進めているが、参加する気はないかという勧誘の電話であった。

ロバート・ノイスは即刻承諾し、家族ともども大陸横断列車に飛び乗った。カリフォルニアのマウンテンビューに着くとすぐに、彼はショックレー研究所の近くに家を一軒借り、勇躍研究所に出社した。ショックレー博士はノイス青年を非常に気に入り即座に採用し、「二重拡散法」によるメサ型のシリコントランジスタを開発するように命じた。ショックレー博士は、当時ベル研究所で開発されたばかりの「二重拡散法」によるトランジスタを、新会社の戦略技術にしようと考えていたのである。

選び抜かれた若き野心家たち

では、ここでショックレー博士のもとに全米から馳せ参じた若者たちのうちの何人かに登場してもらおう。やがて彼らが、ロバート・ノイスとともにショックレー博士のもとを去り、新会社フェアチ

ャイルド・セミコンダクタ社を設立して、数々の画期的な半導体技術を世に送り出すのである。

まず、ゴードン・ムーアさん（六三歳）。一九二八年サンフランシスコに生まれ、カリフォルニア工科大学で物理と化学を学び、両方の博士号を取得。ショックレー博士から誘いの電話がかかってきたときには、東海岸のジョンズ・ホプキンズ大学応用物理研究所で働いていた。ロバート・ノイスとともにフェアチャイルド・セミコンダクタ社の設立に参加。その後一九六八年にインテル社を設立するときも、ノイスと行動をともにした。現在はインテル社の会長である。ロバート・ノイスと、最も長く苦労をともにした仲であった。

ムーア氏

ムーア　私が半導体業界にかかわるようになったのは、ほとんど偶然でした。大学を出て東海岸で政府の仕事をしていたのですが、あまり満足はしていませんでした。それに、できたら生まれ故郷の西海岸で仕事をしたいものだと考えていました。そんなある晩、突然ショックレー博士から電話をもらいました。彼はカリフォルニアで始めようとしている会社の説明をしてくれました。博士の名声はよく知っていましたし、彼の計画の可能性に興味がわいたものですから、私は面接を受けました。私はショックレー半導体研究所での一八番目の社員になりました。一九五六年のことです。

——半導体には詳しかったのですか。

ムーア　私は半導体に関しては何も知りませんでした。物理や化学のトレーニングを受けましたけれども、半導体についてはまったく知識がありませんでした。

——ショックレー博士は、電話でどのような計画を打ち明けられたのですか。
ムーア　電話での話では、値段が安くて高性能なシリコントランジスタを製造したいのだと、博士はおっしゃっていました。当時、シリコントランジスタというのは製造が複雑で、大量生産に向いていないと思われ、一般的ではありませんでした。
——なるほど。
ムーア　博士はベル研で当時生まれて間もない二重拡散の技術を利用することで、低価格で幅広い用途を持ったシリコントランジスタをつくることができるのではないかと考えたわけです。それは、私にとっても非常に興味深い挑戦でした。
——それで、シリコントランジスタの開発に着手なさったのですか。
ムーア　いいえ、仕事が進むにつれて、どういう理由からか博士はシリコントランジスタをやめると言い出したのです。そして、四層ダイオードという特殊なダイオード（サイリスタの一種）に興味を持ち始めました。それは電話交換機のスイッチング回路に使う可能性のあるものだったんですが、その話がシリコントランジスタの技術開発がかなり進んでから突然出てきたものですから、私たちは大変戸惑いました。

マウンテンビューの隣町ロスアルトスの丘陵地帯は、シリコンバレーとその向こうに輝くサンフランシスコ湾を一望のもとに見下ろせる超高級住宅地である。ユージン・クライナーさん（六五歳）の豪壮な邸宅がここにあった。ロバート・ノイスらとともにショックレー研究所を集団退社し、フェアチャイルド・セミコンダクタ社の設立に参加。会社が軌道に乗ったのを見定めて半導体関連装置の製造会社、コンピューター関連の会社、教育機器の製造会社などを設立して資本を蓄積し、ベンチャーキ

ャピタリストに転じた。一九六八年に設立した「クライナー・パーキンス・ブランク」は、アメリカ最大規模の投資会社であったという。

クライナー　私は一九四八年、ニューヨーク大学で産業工学の修士号を取りました。その後一九五〇年にはWE社に就職し、製造ラインの設計を担当しました。

――ショックレー博士とは？

クライナー　一九五六年のことでしたが、ショックレー博士のほうから、ある計画に参加しないかと誘ってくれました。トランジスタの研究と製造をするための会社をカリフォルニアにつくると言うのです。

――彼のほうから電話をしてきたのですか。

クライナー　ええ。私たちはもちろん数回にわたり実際に会いまして、将来の計画について話し合いましたが、博士の勧誘はとても真剣で執ようでした。ただ私にとっては、WEという巨大企業で六年も働いていまして、仕事に不満はありませんでしたので、ハイそれではと言うわけにもいかず大変迷ったのです。一生WEに勤めることだってできたわけですから。

――博士はクライナーさんに何を期待したのでしょうか。

クライナー　彼としては、私が産業工学の専門家だったことに引かれたんだと思います。製造ラインの設計と建設を私にやらせようと考えていたようです。彼が集めたメンバーのなかには、製造関係のエンジニアがほかにいませんでしたので。

――それで、どうなさいましたか。

クライナー　私はトランジスタについては何の経験もありませんでしたが、その申し出は大変魅

力的に思えました。それで、妻と一二歳の息子を乗せて、ニューヨークからカリフォルニアまで車を飛ばして新会社を見に行きました。

――アメリカ大陸を横断して？

クライナー　はい。

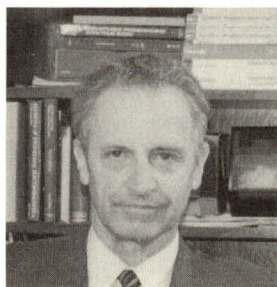
――そこで何をしたんですか。

クライナー　ショックレー博士は知能テストを偏重していました。あれほど私を勧誘しておきながら、私は三日間も知能指数テスト、心理テスト、病理テスト、技能テスト、そして専門分野についての面接を受けなくてはなりませんでした。他のメンバーも同じ体験をしたようです。彼としては、人々を選定するときに自分の判断だけに頼らず、何か客観的なデータが欲しかったに違いありません。

――もう何人か来ていましたか。

クライナー　一〇人ほどの人がすでに働いていました。WE社では一万人以上の人たちが働いていましたから、一〇人とはあまりにかけはなれていて大変迷いましたが、初めは小さくて当然だと思い直し、まったく新しいことを始めるのだから、きっとおもしろいだろうと思って、ショックレー博士のもとで働くことに決心しました。

「工場は全員博士で運営しよう」

若い時代の写真（三二五ページ）を見れば、ハリウッドの映画スターかと見まがうばかりの美男だっ

たが、私たちが会ったときエレクトロ・メモリー・システムズ社長のビクター・グリニッチさんは、体調がすぐれないようであった。言葉に力がなく、目の周りに黒い隈ができていた。ひっそりとした声、間のびした話しぶり、それも体力が続かないのか、しばしば中断した。そばで奥さんが心配そうに気づかっている。そんなグリニッチさんも、ショックレー研究所での体験を話すときだけは顔が紅潮し、声が高くなった。

グリニッチ氏

シアトルのワシントン大学で電子回路を専門に学び、スタンフォード大学で博士号を取得。ショックレー研究所でも、続くフェアチャイルド・セミコンダクタ社でも、トランジスタの測定と応用回路の開発を担当した。

グリニッチ　当時、電気電子技術者協会と言われていましたが、IEEE発行の専門誌の八月号に不思議な広告が載ったのです。研究員募集の広告でしたが、肝心の連絡先がありませんでした。よく見ると、連絡先の電話番号が暗号で書かれていたのです。暗号が解けなければ、肝心の連絡先がわからないという仕掛けになっていました。私はパズルが得意でしたので、すぐに電話番号を解読して連絡をとりましたが、それが私とショックレー博士のご縁の始まりでした。

——いったいなぜ、そんな広告を出したのでしょうか。

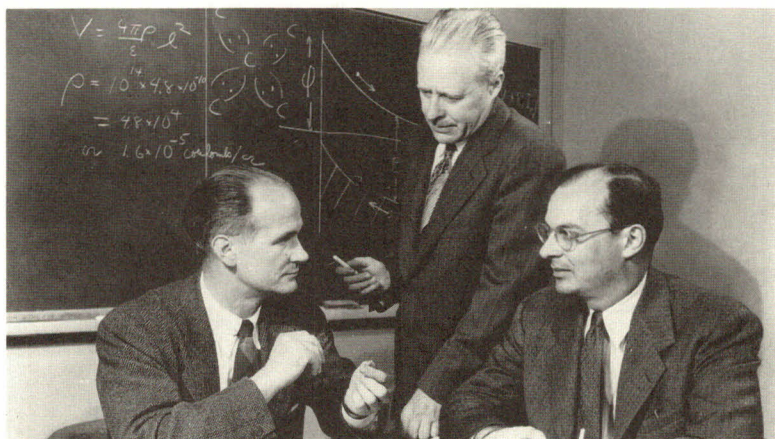
グリニッチ　多分、ショックレー博士一流の知能テストだったのではないかと思います。こんな簡単なパズルが解けないような人は、最初からお呼びじゃないと考えていたのでしょう。

——IQテストをしたんですね。

グリニッチ　いいえ。ビル（ショックレー博士）は私に口頭試問をしましたが、IQテストはしませんでした。一時間半ほどの面接で電子工学や電磁気学に関する質問を矢継ぎ早にしてきました。私はそれらに間髪を入れず答えることができて、首尾よく合格しました。ただビルは、人物をいかにしたらふるいにかけることができるかと、いろいろと考えていたようです。その一つが応募用紙を使う方法でした。応募用紙を注意深く検査させました。何か消した跡はないか、間違った綴りがないか、隅から隅まで丹念に検査させたのです。ビルはかなり人を選ぶうえで厳しい人でした。

——博士はどんなことを考えていたのでしょうか。

グリニッチ　ビルは博士号を取った人だけで運営する工場を考えていました。設計、製造、組み立てなどすべてを博士たちが運営し、ラインで作業するのも博士たちにやらせる。そうすれば、世にもまれな高能率な工場ができると彼は考えていました。ただ私が採用された頃には、その考えを諦めかけていたのではないかと思います。そんなことは実際問題、非常に難しかったからです。それにしても、ビルが採用した人のほとんどが博士号か修士号を持つ若者たちでした。平均年齢が採用当時で三〇歳くらいだったと思います。

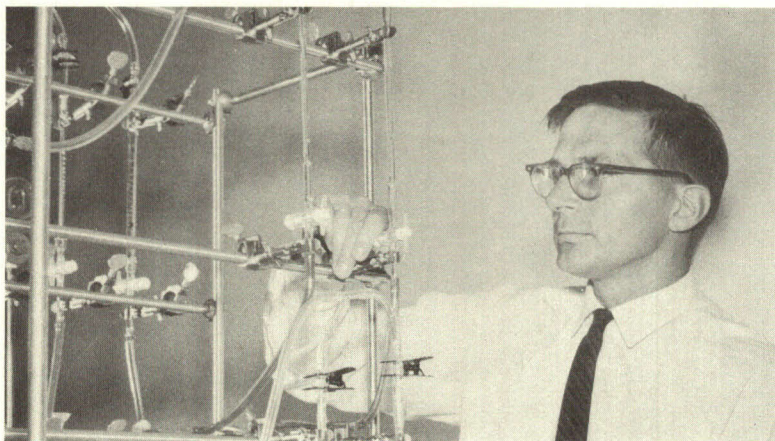
半導体技術の発達を語るうえで絶対に欠かすことのできない発明が幾つかあるが、その一つがプレーナトランジスタである。新興企業のフェアチャイルド・セミコンダクタ社を飛躍させた技術で、詳細な説明は先の章に委ねるが、それはトランジスタの「劣化問題と低い生産歩留まり」を根本から解決する方法であり、集積回路につながる基礎技術でもあった。それを考案したのが、ジーン・ハーニ

ショックレー（左）、ブラッテン（中央）、バーディーン（右）の三博士

ー（Jean A. Hoerni）さんであった。現在六七歳。

スイスのジュネーブに生まれ、ジュネーブ大学とケンブリッジ大学で二つの博士号を取得したあと、奨学金を得て渡米。カリフォルニア工科大学で、ライオネル・スポールディング博士のもとで補助研究員として研究に従事した。ちなみにスポールディング博士は、ノーベル化学賞と平和賞の双方を受賞した数少ない科学者であった。その後、物理学の教授としてスイスの大学に帰ろうとしたが、ポストがあかず帰国を断念。やむなくベル研究所の研究員募集に応募した。このとき面接をしたのが、ショックレー博士であった。彼は博士に「あなたのもとで半導体の研究をしたい」と申し出たが、採用後に配属されたのは意に反して無線研究部であった。彼はショックレー博士を訪ねて、配属先の変更を願い出た。

ところが――。

ハーニー　私がベル研に志願したとき、面接してくれたのがショックレー博士でした。

私は「あなたのもとで働きたい」と申し

ベル研時代のハーニー氏

出たのに、彼は私を無線研究部に配属したのです。そこでは、絶縁体を並べてマイクロ波通信の研究を命ぜられたのですが、私はあまりやる気がなく申し出を断ったんです。彼らは非常にびっくりしました。というのも、今までだれもベル研の採用の申し出を断るなんて、いなかったと言うのです。それから数か月後、私は博士に「あなたのところで働きたい」と訴えたのです。すると博士が、自分は西海岸のパロアルトで半導体の会社をつくるつもりなので来ないかと言うんです。

——憧れの博士に誘われたんですね。

ハーニー　ところが、ちょうど時を同じくして、私はスイスにも仕事の口が見つかって、ベクテル・インスティチュートで働く可能性があったんです。大いに迷って、コインの裏表でどちらかに決めようかと思ったほどでした。ベクテルのほうが大き

くしっかりした会社でしたから、スイスに帰ろうかなと心が傾いたのですが、幸か不幸かいくら連絡をとっても担当者がいなかったんです。午前中から午後にかけて電話をかけ続けたんですが、駄目でした。そのうち気持ちが変わってしまい、ショックレーさんに同意の電話をしたのです。一九五六年のことです。実を言いますと、私は半導体の知識などまったくなく、ダイオードが電流を一方にしか流さないなどといった初歩的な知識さえなかったのですがね。

——ところで、ショックレー博士がなぜ新しい会社を設立しようと考えたかについては、お聞きになりましたか。

ハーニー　理由は二つあったようです。一つは彼のお母さんがパロアルトにいらっしゃったことです。ですから、博士の母上がテキサスにお住まいだったら、シリコンバレーがテキサスにできたかもしれません。

——もう一つの理由は?

ハーニー　その最大の動機は、自分が発明した特許の利益は自分がもらうべきだと考えたことだと思います。というのは、彼が発明した接合トランジスタの特許はAT&Tが所有し、そこから上がる莫大な利益もAT&Tに入り、発明者の彼には何の利益ももたらさなかったからです。これは私が発明したプレーナトランジスタの場合でも同じことでしたが、アメリカでは何らかの発明をした場合、それが従来型トランジスタの場合でも、あるいはプレーナトランジスタの場合でも、特許の所有権は会社に帰属し、特許料のようなものは会社が受け取ることになるんです。だから、ショックレー博士は自分の会社をつくって、そこ

で発明した特許の権利を自分が所有したいと考えたに違いありません。接合トランジスタを超える何かを発明し、その特許から上がる利益を今度は自分が手にしたいと考えたのだろうと思います。私たちはそう見ていました。

この解説は、ハーニーさんの体験と深く重なっているようで興味深い。それは彼が発明したプレーナトランジスタはフェアチャイルド社には莫大な利益をもたらしたが、彼個人にはあまり利益をもたらさなかったからである。もちろん、会社から優遇され大切にされはしたが、経済的なメリットはなかった。そのために彼が真っ先にフェアチャイルドを飛び出し、さまざまな会社を次々と設立するのだが、プレーナトランジスタほどの大発明を二度とすることはなかった。それは、ショックレー博士が新会社で何一つ新しい技術を生まなかったこととどこか似ていた。

ハーニー　ショックレーさんは、博士号を持っている人は持っていない人よりも仕事ができる証拠だと考えていました。ですから、彼は博士号を持っている人を一二人も雇ったんです。普通は中心になる幹部を二人か三人雇って、あとはその指示に従って働く普通の人を雇うものなんですが、ショックレー博士はもし可能なら、工場を全員博士集団にしたかったのです。ところが、博士が大勢集まってみると、互いがどちらが頭でどちらが足なのか、疑心暗鬼になりました。でも、ショックレーさんが次のように言ったことを覚えています。「たとえ便所掃除にでも、博士を使うのが私の主義なのだ」と。便所掃除でも、博士のほうが立派な仕事をすると言うのです。この発言は私たちを大変不愉快にし、ショックレー博士の人格に一抹の不安を感じたのです。

一年も経たずに内紛の火の手

こうして一九五六年の春、ショックレー半導体研究所は、若者たちの満々たる野心と一抹の不安を内包しながら、マウンテンビューの陽光あふれる谷間で操業を開始したのである。それは、シリコンバレーにおける最初の半導体会社であった。

間もなく若者たちはショックレー博士の言動に疑いを抱き、不信をつのらせ、ついには博士のもとを集団で離脱するのだが、人々は彼らを「裏切りの八人」とか「フェアチャイルド八人衆」とか「八人のフェアチャイルド・マン」と呼んだ。この八人衆に遅れて参加した人物が、マレー・シーゲルさん(五八歳)であった。仲間たちは、今も彼を「九人目のフェアチャイルド・マン」と呼ぶ。

現在サーラス・ロジック社国際販売部長のシーゲルさんは、ニューヨーク大学で機械工学を学んだが、大学時代の先生の一人がユージン・クライナーさんであった。彼が卒業する前にクライナーさんはベル研究所に転じ、そこも辞めてショックレー研究所に移っていたが、卒業を目前に控えた一九五七年の夏、恩師のクライナーさんからショックレー研究所に誘われたのである。シーゲルさんは誘われるままにニューヨークから西海岸に車を飛ばし、マウンテンビューの研究所にショックレー博士を訪ねた。面接を受ける間、奥さんが表で待っていた。

シーゲル　当時、ショックレー研究所はサンアントニオ通りにありました。私は家内を連れて行ったのですけれども、面接を受けている間、家内を車の中に残しておきました。私が面接を終えて車に戻ってきますと、家内が「どうなったの?」と聞くので、私はここで働くこ

とになったと答えました。すると家内はぎょっとして、「冗談でしょ、道端をごらんなさいよ、鶏が歩いているのよ、あなたこんなところに住むつもりなの」と厳しい口調で声を上げたので、私は家内に「通りを鶏が歩いているからといって、ここをそんなことで判断しないでくれよ」と言いました。ここで働くことは大変重要なことで、私にとってはここが人生の出発点なのだから、と妻を説得したのです。私たちは大都会のニューヨークに住んでいましたから、家内は大変渋りましたが、結局私たちはパロアルトに移り住むことにました。

ショックレー研究所はパロアルトにあったとだれもが言うが、地図を見るとパロアルトの隣町マウンテンビューの町はずれ、パロアルトとの境に近いところにある。先に見た通り、現在はオーディオショップになっているが、市街地の真ん中である。だが、シーゲルさんの記憶によれば、当時は裏手に果樹園が続き、鶏や豚が賑やかに声を上げ、前の通りを車が砂ぼこりを巻き上げて走っていたという。あまりの田舎ぶりに都会育ちの奥さんが猛然と反対したが、それを押し切って夫妻は結局ここに移り住むことにした。しかし、夫妻がニューヨークを引き払い、ようやくマウンテンビューに引っ越して来たとき、ショックレー研究所の雰囲気が一変していた。

シーゲル　実はその頃、ショックレー研究所では内紛が火を吹いていたのです。何を主力製品にするのかについて、ショックレー博士と若者たちの間で意見が対立したのです。対立は抜き差しならないところまで達し、ついに若者たちが反乱を起こすところまで進んでいました。多分ユージン・クライナーが言い出したんだと思いますが、みんなで集団退社しようと主張し、彼がみんなの根回しをしておりました。ユージン・クライナーはここを集団退

マウンテンビューのショックレー研究所は、現在はオーディオショップになっている

社し、投資者を見つけて新会社をつくろうと奔走していました。

——なるほど。

シーゲル　私が面接のために家内と一緒にショックレー研究所に来たときは、その気配はなかったのですが、いよいよニューヨークを引き払ってパロアルトに着いたときは様相が一変していました。九月一日頃ニューヨークを発ち、パロアルトに着いたのが六日でした。モーテルに落ち着くとすぐ、ユージン・クライナーに電話を入れました。すると電話に出たユージンが、「研究所には行かないでくれ」と言うのです。

——へえ。

シーゲル　私は呆然として声も出ませんでした。三〇〇〇マイルも走って来てみると、会社には行くなと言うのです。持ってきたお金だって限りがありますから途方に暮

れていると、ユージンが「今夜、私の家に来ないかね。ちょっとしたパーティーをやるんだが、ぜひ君にも来てほしいんだ」と言うのです。

——その夜パーティーに出たんですか。

シーゲル　はい、やることもないので。行ってみると、大勢の人たちが集まっていました。ビクター・グリニッチ、ジェイ・ラスト、シェルドン・ロバーツ、ジュリアス・ブランク、ジョン・フェルナンデス、それにボブ・ノイス。全員が一様に、はしゃいで興奮していたのです。

——お祭り騒ぎ。

シーゲル　ええ。そこで「私のためにこんなパーティーを開いてくれてるんですか」と聞きました。するとユージンが「私の書斎に来ないかね、君に見てほしいものがあるんだよ」と、私を書斎に連れて行きました。そこで彼が見せてくれたのが、新会社設立の起案書でした。ユージンは「読んでくれたまえ。われわれはこれを銀行の人たちに配ったんだよ。私たちの資金をバックアップしてくれる人が必ず見つかると信じてる」と言うのです。そんなことがあって、私は九人目のフェアチャイルド社設立メンバーになったのです。

シーゲル氏

——なるほど。

シーゲル　結局、私は翌日、ショックレー研究所に退職を通知するために出社しました。ですから、一五分だけショックレー研究所で働いたことになります。「雇ってもらって

ありがとうございました。でも、辞めさせていただきます」と言うだけの仕事でした。

偉大な科学者にビジネス失格の烙印

一体、何が起きたのだろうか。少なくともショックレー博士にノーベル賞受賞通知が届いた一九五六年一一月一日の朝は、だれもが博士を祝福して集まったのである。記念写真を前にして、グリニッチさんが枯れた声で語る当時の心境。

グリニッチ　あの朝が、多分ショックレー博士にとって人生最高のときでした。

――このとき、すでにショックレーのところを離れる気持ちを固めていたんですか。

グリニッチ　いえ、とんでもありません。それは何か月も先のことです。この写真は一九五六年秋のことで、問題が起こり始めたのは次の年の春のことでした。ですから、この写真を撮ったときは、辞めるなんて考える人はだれもいませんでした。

――では、このころは皆さんショックレー博士に満足していたんですか。

グリニッチ　そうです。みんな自分たちの未来は、偉大なノーベル賞科学者の頭脳とともにあると信じていたのですから。

彼らの偉大な科学者に対する尊敬が、どのような経過をたどって次第に変わっていったのだろうか。一番年かさで、自らも大学の教師をしたことがあるユージン・クライナーのショックレー評は、激しく厳しい。

クライナー　彼は半導体の仕事をして行くんだという意識はありましたが、何をするべきかとい

う具体的なことまでは頭にありませんでした。

——ほう。

クライナー　ごく最初のうちは、それでも問題は起きませんでした。なにしろ全員が準備に追われて、先のことまで考える余裕などなかったからです。単結晶をどうやってつくるか、シリコンウエハーにどうやって回路をエッチングするか、無数で多様な技術を身につけたり、基本設備を準備することで手一杯だったからです。

——ところが？

クライナー　ところが、こういった基本的なテクノロジーができ上がりますと、今度は、この基盤の上に何を築くべきか、具体的にどんな市場を相手にどんな製品をつくるのかを考えなければいけなくなりました。未成熟で未開拓の新しい産業に、若くてよりすぐれた人材が挑戦しようというときには、指導者の舵取りがこの上なく重要でした。ところが肝心のショックレー博士には、何の海図も羅針盤もなかったのです。

——そんなに無策無方針だったのですか。

クライナー　彼はつまるところ、何をしようかということを見極めていなかったのです。大事な方針を、彼はしばしば変えました。しばしばというより、ほとんど毎日変えていたといってても言いすぎではありませんでした。これは、仕事をやる上では実にやりにくいものです。毎日新しいアイディアを思いついては、出来心で方向を変えました。そして、何一つ終わりまでやり遂げることがありませんでした。

——そんなにくるくると方針が変わったのですか。

クライナー　非常にしばしば変えました。ですから、彼のために働いていた人たちは何かを始めては、やりかけのまま、途中から別のことをやらされるということがしばしばでした。すべてが中途半端に終わってしまい、人々は物事を最後までやり遂げる喜びを奪われ、胸には言うに言われぬ欲求不満がたまっていきました。

体調を崩して声に張りのないビクター・グリニッチさんも、ショックレー博士のことになると、心持ち声が大きくなった。

グリニッチ　ショックレー博士は半導体製造業を始めるのだと言っていましたので、私はトランジスタをつくるのだとばかり思っていたのですが、ふたを開けてみると、博士はあまりトランジスタには興味を持っていないことがわかりました。特殊なダイオードをつくると言うのです。

——それは何ですか。

グリニッチ　ショックレー研究所が生産した唯一の製品は、一種のスイッチング素子でした。

——でも、博士は最初はシリコントランジスタを考えていたんじゃなかったんですか。

グリニッチ　ショックレーは新し物好きで、次から次へと目先の変わったものを追いかけました。人がやったことのないまったく新しい事柄を、人がやったことのない方法でやろうとばかり考えていました。ですから、すでになし遂げられたことや、試されてしまったことにはまったく興味がなかったのです。

——科学者としては当然という気もしますが。

グリニッチ　しかし、ビジネスとしては困りますね。ここに、ショックレー博士が事業家として

失敗した大きな理由がありました。ショックレーが手がけたことで、半導体ビジネスの主流技術になったものは、何一つないのですから。

——でも、商売っ気はあったのでしょう。

グリニッチ　自分が考案したサイリスタだけは、最後まで工業化を考えていたようです。私たち八人が集団で退社したあとも売り込んでいましたから。

尊敬が憎しみに変わるとき

四層ダイオードと呼ばれるサイリスタは、シリコン結晶にPNPNの四つの領域をつくり込んだスイッチング素子で、この年（一九五六年）J・L・モルがシリコンのメサトランジスタを研究する途中で発見した技術であった。AT&Tが電話交換機の機械式リレースイッチの代わりに、このサイリスタを使ってくれるのではないか。まだ買ってくれるあてのないシリコントランジスタよりは、サイリスタほうがひょっとしたら商売になるのではないか。ベル研究所出身のショックレー博士はそう考えたのかもしれない。

ハーニー　ショックレー博士は、私にはもっぱら理論計算ばかりを命じました。実際私は、研究所の本流の場所にいたわけじゃなかったのです。というのも、半導体についての知識が私には不足していましたので、明らかに支援的な仕事でした。そこで私は、研究所の主要な研究員たちのメンバーになりたい、ほかの人たちと一緒に働きたいとお願いしたのですが、ショックレー博士は私の願いを聞き入れてくれませんでした。

――なるほど。

ハーニー　ある日、ようやく願いかなって博士から一つの試作を命じられました。それが四層ダイオードでした。こともあろうに、三人の博士がこれに投入されました。ラスト博士、バベージ博士、それに私でした。

――三人がかりですね。

ハーニー　そうです。しかもショックレー博士は、「君たち、このダイオードを試作するのに六週間の時間を与えよう。ただし、ほかのだれからも援助を受けてはならない」と言い、「これに成功したら、まあ研究所にとどまってもらっても構わないがね」と続けました。

――成功しなかったら？

ハーニー　つまり、「もし成功しなかったら首だぞ」という脅迫だったのです。私たちはそれをやり遂げ、商品化に成功したんですが、売れるはずもないデバイスでした。私たちは次第にショックレー博士に対する憎悪と怒りを内向させていきました。

若者たちはショックレー博士の当初の考えに従って、だれもが二重拡散法によるシリコントランジスタ、つまりシリコンのメサトランジスタの研究を進めていた。やがて彼らは、その成功を確信するようになった。それを博士が突然覆して、得体の知れないダイオードに転換しようとしたのである。若者たちのほとんどが一斉に異を唱え、反発した。しかし、ショックレー博士は頑として若者たちの意見に耳を貸そうとしなかった。

グリニッチ　みんなやる気をなくしていきました。ショックレーは、勝手気ままな方法で物事を動かしました。研究部門は毎日のように取り組む対象が変わりました。ショックレー博士

の思いつきで、目まぐるしく研究テーマが変えられました。これでは、何か新しいものが生まれてくる見込みはありませんでした。

――でも、博士は偉大なノーベル賞科学者だったんでしょう。

グリニッチ　博士は物理学と数学の分野では天才でした。科学者としてはまぎれもなく偉大な人でした。しかし、管理者としては非常に問題の多い人でした。たとえば人を公平に扱うといったことには無神経でしたし、他人の発想や試みには極めて冷淡で、他人の話を真剣に聞こうという姿勢が、まったくありませんでした。

――なるほど。

グリニッチ　何ごとによらず自分のやっていることが常に一番で、どんな研究も博士自身が主任研究員でないと気が済まなかったのです。自分のやっていることは創造的なことなんだと部下たちが情熱を持てるように、上司として振る舞うことなど彼にはできませんでした。どんなプロジェクトにも首を突っ込み、でしゃばり、やがて部下にやる気を失わせる名人でした。一つのことを責任者に任せ、自分はそっと見守ってやることなど、彼にはとてもできない相談だったのです。

クライナー　本当は何も自分で人をまとめようなどと思う必要がなかったのです。だれか人を雇って代わりにまとめさせればいいだけの話だったのですが、彼は実験者であり、科学者であり、研究のリーダーであろうとしたのです。これは、さすがのショックレー博士でも能力を超えることでした。そんなわけで、彼の失敗は結局人々のまとめ方にあったわけです。彼の失敗は、その後の私たちにとっては、生きた教材であり反面教師になりました。

ハーニー　なにせショックレー博士は、人間関係を築くのが不器用で下手でした。その結果、会社をスタートさせてから一年も経たないうちに、だれもが彼のもとを離れたいと思うようになっていたのです。

経営者棚上げ計画の具体化

ところが、ショックレー研究所を離れて西海岸で暮らせる自信はだれにもなかった。若者たちが再就職しようと思っても、西海岸の田舎では彼らを雇ってくれる企業がなかったのである。なにしろ、当時のサンタクララバレーには、ヒューレット・パッカードとかベックマン・インスツルメンツなどわずかな企業を除いては、工場らしい工場がほとんどなかったからである。思い余った若者たちが考えたことは、ショックレー博士に経営者の座を降りてもらおうということだった。

ハーニー　結局、私たちは次のような結論に達しました。ショックレーは経営の座から降りて、せいぜい研究部長の職にとどまるべきだ。だれも彼の科学者としての才能に疑問を持つ人はいませんでしたが、企業を経営するというのは、ビジネスマンでなければならないと考えました。企業の利益とか将来のあり方に全然関係のないプロジェクトを、思いつきでやられては、お金がいくらあっても足りません。無駄なお金を使う余裕はないはずでした。

ショックレー研究所を設立するに当たっては、ベックマン・インスツルメンツが資金を提供していた。ベックマン・インスツルメンツの社長で化学者のアーノルド・ベックマン博士こそが、ショックレー研究所のスポンサーであった。そこで若者たちは、ショックレー博士棚上げの画策をスポンサー

のベックマン博士に持ちかけたのである。

クライナー　私たちは事実上の出資者であるアーノルド・ベックマンに会いました。彼に実情を訴え、何とか対処してほしいと頼みました。

――ベックマン博士というのは？

クライナー　自身が化学者であり博士で、会社を興す前はカリフォルニア工科大学で教鞭をとっていた人物でした。

――ああ、学者で社長ですか。

クライナー　企業家としても立派な人でした。ですから、私たちはベックマン博士に現状を話し、善処をお願いしたのです。最初は彼も私たちの話を理解してくれ、同情的でした。これならきっと、現状を変えてくれるに違いないと思いました。

ムーア　ショックレー博士を経営者ではなく、顧問のような立場に棚上げすることはできないかとお願いしたんです。最初はその方向で話が進んでいるように見えたのですが、そのうちにベックマン博士は、ショックレー博士をそのままのポジションに据え置くことに決めてしまったようでした。

クライナー　いつまで待っても、ベックマン博士は何一つしようとはしなかったのです。

――なぜでしょう。

クライナー　ノーベル物理学賞を取り、ショックレーの名声がとどろいていましたから、さすがのベックマン博士も、

クライナー氏

偉大なノーベル賞受賞者を簡単には首にできなかったのです。

ムーア　こんな結果になると、私たちのように交渉に当たっていたグループは、そのままショックレー研究所に居続けることができません。それじゃ八人で辞めよう、ということになったんです。

アメリカ各地から集まってきた秀才たちは、このまま我慢してショックレー研究所にとどまるか、ここを去って東海岸に戻るか、日々悩んでいた。彼らはベックマン博士の決断に一縷（いちる）の望みを託していたが、彼が結局何もするつもりがないことを知って絶望し、やがて途方もない決心をするのである。

ハーニー　みんなすごく落胆し、私は目の前が真っ暗になったくらいです。世間知らずの若者ばかりでしたから、どうしていいものやら途方にくれました。

グリニッチ　私たちの危機感はつのる一方でした。毎日集まっては、善後策を話し合いました。みんな博士の名声に引かれて全国各地からここに集まっていましたし、すでにほとんど全員が家を買い、家族を呼び寄せていました。ところが、当時は西海岸には半導体メーカーが一つもなく、就職先も簡単には見つかりそうもありませんでした。

クライナー　当時はまだこの辺はシリコンバレーとは呼ばれていませんでした。ですから、今のように沢山の企業などありませんでした。失業したら東部に戻ることになると思われました。私たちはカリフォルニアが気に入っていたのと、結構お互いの関係がうまくいっていましたので、失業したらグループで活動しようと話し合うようになりました。

グリニッチ　結局、三々五々辞めてちりぢりになるよりは、グループで退社して力を合わせれば何か道が開けるかもしれないということになったのです。

クライナー　そうだ、いっそのこと自分たちでショックレー研究所のような会社をつくろうではないか、という話になりました。

ムーア　そんな私たちに幸福の女神がほほえんだのです。偶然ユージン・クライナーが彼の父親の友人のところに、「私たちは今の職場を辞めようと考えているんだけれども、自分たちは一緒に働くことが気に入っているので、グループとして雇ってくれる会社がないだろうか」と手紙をしたためたんです。

クライナー　私は父親のつてで、仲介会社である「ハイドン・ストーン」にコンタクトをとりました。父の知り合いというのは、実は親戚の一人だったんですが、「ハイドン・ストーン」のコイル博士とは共同経営者の間柄でした。それで、手紙を書いてくれました。するとコイル博士は、手紙を部下のアーサー・ロックに渡し、彼の尽力で事が動き始めたのです。

ムーア　ユージンが出した手紙に折り返し「すぐにでも話し合いましょう」という返事がきました。やがて返事の主（注＝コイル博士のこと）が、ハーバード・ビジネススクール出のMBA（注＝アーサー・ロックのこと）を伴ってやって来ました。彼らといろいろ協議したんですが、結局のところ、結論は自分で会社を設立するしかないということになったんです。そんな考えなど、私たちだけではとうてい思いつくようなものではありませんでした。

――なるほど、専門家の知恵を借りたわけですね。

ムーア　そうです。私たちの新会社に資金を投資してくれる相手との交渉は、投資会社の人（アーサー・ロックのこと）が引き受けてくれましたが、まず交渉相手を決めなければいけませんでした。私たちは文字通り車座になって『ウォールストリート・ジャーナル』紙を広げ、

紙面に出てくる企業を一つ一つチェックしながら、半導体に興味を示してくれそうな企業をリストアップしました。その数は三〇数社にのぼったと思います。そのリストに基づいて投資会社の人たちが全社に当たってくれたんですが、まったくどこも引き受けてくれるところはありませんでした。だれもそうした新しい産業に興味を示してくれなかったんです。

――絶体絶命ですね。

ムーア　ところが、またもや幸運の女神がほほえんだのです。

幸運の女神が出資者を呼び寄せた

一九五七年当時、今では当たり前になっているベンチャー企業に投資をするような人は、まったくいなかった。まだベンチャーキャピタルというような会社が存在しなかったのである。だから彼らは、既存の会社を訪ね歩いて支援をあおがなければならなかった。彼らが最終的にフェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社という会社に出会うまでには、実に五〇社以上の企業を訪問していたのである。

ムーア　まったく偶然のことですが、投資会社の人が別件でシャーマン・フェアチャイルド氏と会ったのがきっかけでした。

――シャーマン・フェアチャイルド氏というのは？

ムーア　つまり、フェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社とフェアチャイルド・エアク

ラフト社の創始者でした。彼は若いときに航空カメラを発明し、それを製造する会社をつくったばかりでなく、航空カメラを搭載して飛ぶ飛行機も製造する会社を設立しました。

――また、なんでカメラ屋さんが半導体に興味を持ったのでしょうかね。

ムーア　彼はテクノロジーマニアだったのです。あらゆる技術に興味があり、すぐに熱中しました。ですから、半導体にもたちまち非常な興味を示したのです。

クライナー　当時フェアチャイルドは航空カメラ機材の会社で、半導体には関係なかったんですが、その開発には関心がありました。航空カメラは軍需品でしたから、平和時の主力製品を探していたわけなんですね。

――なるほど。

クライナー　アーサー・ロックが何度か交渉を進めるうちに、会長のシャーマン・フェアチャイルドとニューヨークで会うことになりました。会長は私たちの計画をじっと聞いていましたが、聞き終わるとフェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社のカーター社長に「この話はすぐに進めなさい」と命じました。

――会見成功ですね。

クライナー　そればかりか、会長は私たちのほうに向き直って、「もし契約に六週間以上もかかるようならば私にご一報ください。急がせますから」と言ったんです。

――フェアチャイルド・カメラの経営陣はどう考えたんでしょうか。

ムーア　ショックレー博士が途中でやめてしまったシリコントランジスタには非常な関心を示しました。ですから、それを続けたいという私たちの考えには賛成してくれました。即刻、

彼らは私たち若き科学者と技術者のグループに賭けてみることに決めたようでした。

クライナー　こうして、私たちの会社はフェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社の半導体部門として出発することになったのです。やがて契約が順調に終わり、彼らは私たちが会社を始めるのに必要な資金を用意してくれました。正確な額は覚えていませんけれども、だいたい一五〇〇万ドルとか、そういった額じゃなかったでしょうか。一九五七年九月のことでした。

こうして新会社が正式に発足したのは、一九五七年一〇月一日であった。フェアチャイルド・カメラ&インスツルメンツ社が出資した金額は一三〇万ドル。新会社の名前はフェアチャイルド・セミコンダクタ社と名づけられた。航空カメラ製造会社、航空撮影用飛行機製造会社に続き、シャーマン・フェアチャイルド氏が所有する三番目の会社であった。

パロアルト(図5の④)は大学の町である。中心部にスタンフォード大学のキャンパスがあり、教会の尖塔のような鐘楼を中心に、一〇棟を超える大きな校舎とグラウンドなど、諸施設がとり囲んでいる。さらにその周りに、大学職員や教授たちの居住区域が広がっている。住宅は広い芝生に囲まれ、住宅地全体がゆったりと続いている。その広さが縦横二キロ、街路の両脇には原生林のような巨木が並び、その中を道路が網の目のように走っている。ところが、スタンフォード大学の敷地はそれだけではない。キャンパスの背後には東西に八キロ、南北に五キロの丘陵地帯が続き、湖が二つもある広さである。一八八五年、鉄道資本家のリーランド・スタンフォードが社会還元のために私財を投じてつくった大学で、アメリカ西海岸の知的中心地といわれ、特に電気工学の分野では多くの人材を世に送り出してきた。このスタンフォード大学構内の職員住宅街に、故ショックレー博士の住まいがあっ

図6　パロアルトの町

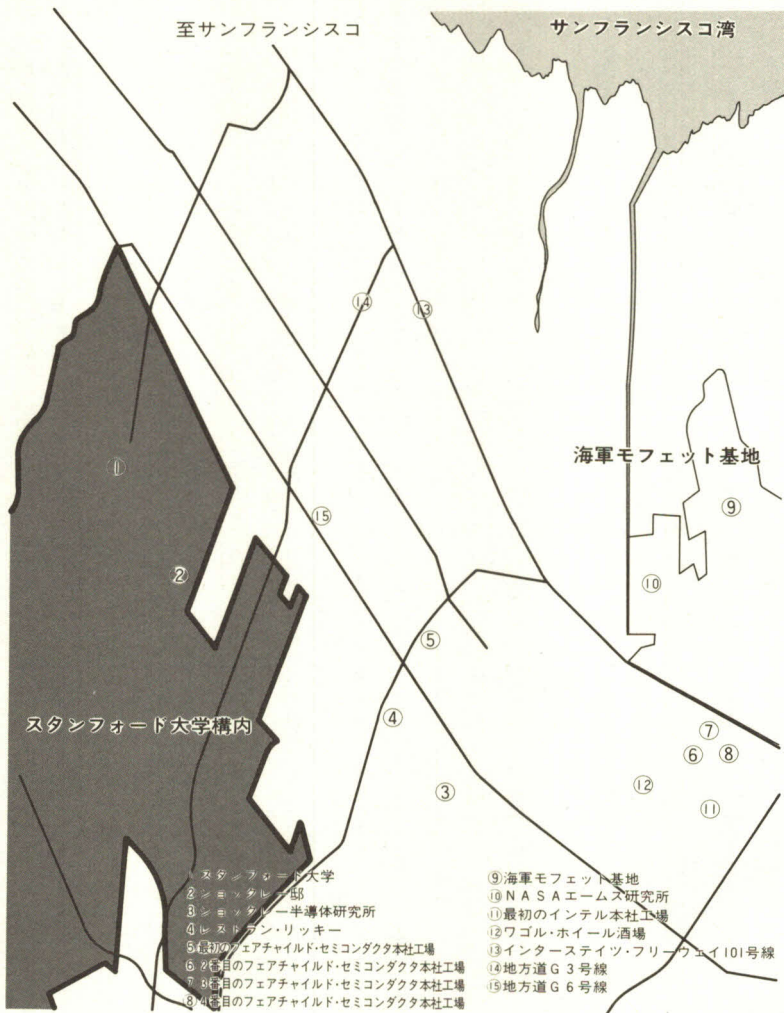
至サンフランシスコ
サンフランシスコ湾
海軍モフェット基地
スタンフォード大学構内
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩
⑪
⑫
⑬
⑭
⑮
①スタンフォード大学
②ショックレー邸
③ショックレー半導体研究所
④レストラン・リッキー
⑤最初のフェアチャイルド・セミコンダクタ本社工場
⑥ 2番目のフェアチャイルド・セミコンダクタ本社工場
⑦ 3番目のフェアチャイルド・セミコンダクタ本社工場
⑧ 4番目のフェアチャイルド・セミコンダクタ本社工場
⑨海軍モフェット基地
⑩ＮＡＳＡエームス研究所
⑪最初のインテル本社工場
⑫ワゴル・ホイール酒場
⑬インターステイツ・フリーウェイ101号線
⑭地方道Ｇ３号線
⑮地方道Ｇ６号線

た。これからショックレー未亡人を訪ねて、若者たちに裏切られたときの衝撃を聞くことにするのだが、その前に、関係する舞台の位置関係を地図上に整理しておこう。

図6を見てほしい。まず①がスタンフォード大学。その職員住宅街にあるショックレー邸が②。これまで見てきたように、若者たちとショックレー博士の確執の舞台となったショックレー研究所は③。ィオショップになっている。また、博士がノーベル賞の通知を受けた朝、若者たちが祝福のために集まったレストランは④、ショックレー邸から四・五キロ、研究所から一・五キロの距離にある。レストランの名前がリッキー、若者たちが何かと集まった場所である。新設したフェアチャイルド・セミコンダクタ社の販売会議や商談も、すべてここで行われたという。新会社フェアチャイルド・セミコンダクタ社最初の本社が⑤、リッキー・レストランから一・二キロ、ショックレー研究所から二・二キロと、互いが目と鼻の距離にある。

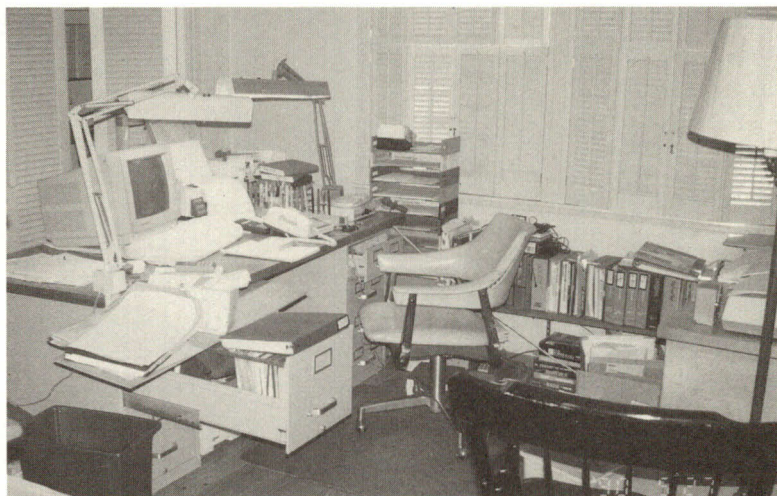
最初の本社から約五キロ東、マウンテンビューのウィッシュマン通りが一〇一号フリーウェイにぶつかる地点に、三つの工場が隣合っている。フェアチャイルド社二番目の本社工場が⑥、三番目の本社工場が⑦、四番目の本社工場が⑧。三つの工場のそばを通る道路には「フェアチャイルド通り」の標識がかかっていた。その増設年度と大きさから、フェアチャイルド社がいかに急速に伸びていったかがわかる。一九六〇年代はここが世界の半導体技術をリードした場所であり、五〇年代のベル研究所に匹敵するメッカであった。しかし、今はいずれの工場もほとんど廃墟同然で、石油探査会社シュランベルジャー社の所有になっている。ついでに触れれば、三つの工場の向かい側には広大な海軍モフェット基地⑨があり、同じ敷地にＮＡＳＡのエームス研究所⑩がある。

やがてロバート・ノイスたちは一九六八年、フェアチャイルド・セミコンダクタ社を退社してインテル社を新設するが、最初の本社工場⑪は三つの工場廃墟(⑥⑦⑧)から歩いて五分、距離にして三〇〇メートルのところにあった。最後に⑫はワゴン・ホイール酒場、若者たちがリッキー・レストランの代わりに足しげく通った息抜きの場所であった。場合によっては、以降中巻から下巻にかけて展開する話を、この地図を見ながら読んでいただけるとありがたい。さて、それでは故ショックレー博士の夫人を訪ねることにしよう。

抜き打ち集団退社のショック

二五人の社員のうち八人に去られたショックレー博士は、結局ショックレー研究所を離れてスタンフォード大学に迎えられ、一九八九年に七九歳で亡くなるまで、大学の舎宅に住んでいた。そんな関係でエミリー夫人が住むショックレー邸は、スタンフォード大学構内にあった。

博士の部屋は、亡くなる前に机を離れたときのままに保存されていた。机の左袖の引き出しは開いたまま。ノートの上には計算途中だったかのように電卓が開いたまま。机の上のパソコンのプリンターからは、アウトプットの紙が出かかったままであった。博士が今も生きていて、仕事途中でちょっと机を離れたような雰囲気を残していた。時間が中断したまま部屋には塵一つ積もらないように、夫人が毎日磨いていたのである。

夫人は毎日終日、書斎で時間を過ごしていた。博士の業績を後世に残すために、膨大な資料を整理する仕事に没頭していたのである。夫人もまた、オハイオ州立大学で心理学と教育学を学んだ学者で

夫人の手で博士が亡くなる当時のまま保存されている部屋

あった。母校で教鞭をとるばかりになっていた一九五五年、ベル研究所を辞めたショックレー博士と知り合って結婚。その翌年、博士がノーベル賞の栄誉に輝いた。

夫人　私たちが一九五五年に結婚した翌年、彼がノーベル賞を受賞しました。その日、彼がノーベル賞を受賞したという電話がかかってきたんですが、最初は何か冗談だろうと取り合わなかったんです。ベル研時代の仕事仲間にからかわれているのだろうと思っていたようです。そのうちに電話がひっきりなしにかかってくるようになり、新聞記者やテレビ、ラジオのレポーターがドッと押し寄せてきました。それで、ノーベル賞受賞は本当だとわかったのです。

——それで？

夫人　私が「ドレスが必要ね」と彼に言い

ますと、彼は「そうだね」と言って、私のために小切手を切ってくれました。それで私は、早速サンフランシスコのシティ・オブ・パリスというお店に行きまして、ノーベル賞授賞式に着ていくためのドレスを注文したのです。授賞式では、私はソロモン王と一緒に座りまして、それは印象的ですばらしい儀式でした。

エミリー夫人は、今もなお感動の余韻を楽しむような話しぶりであった。話を中断して奥に入った夫人は、写真のようなピンクのドレスを持って現れた。これを着て華麗な夜会に出席したこと、帰国後も偉大な科学者としてマスコミの寵児になったこと、全国を講演旅行したこと、結婚の翌年に夫が人生最大の栄誉に浴した感動と興奮は、一生忘れられなかったに違いない。その幸福の絶頂に突如、衝撃的な事態が訪れた。ショックレー研究所の若者たちから、集団退社を告げられたのである。

夫人　その日、彼は悄然と打ちひしがれて、裏口から入ってきました。私が「どうしたの」と聞くと、彼はしばし口ごもって「あれは、本当のようだよ」と言い、それっきり一言も口をききませんでした。

——……。

夫人　みんなが団結して、一度に博士のもとを去ってしまったんです。私はそれまで、博士が感情的に振る舞うのを見たことがありませんでしたけれども、このときはとても静かで、顔色が青ざめ、悲しそうで、そんな博士を私はそれまで一度も見たことがありませんでした。今でも、そのときの博士の悲痛な顔を忘れることができません。私は激しい怒りがこみ上げてきて、「こんな仕打ちをなぜ黙っていなけりゃいけないの」と激しい口調で言いました。それでも博士は、無言でたたずんでいるばかりでした。私は本当にすごく怒っていたので

ノーベル賞受賞のあと数々の夜会で夫人が着たというドレス

す。私が彼らを許せるようになるまでには、大変な努力と長い年月が必要でした。

――ショックレー博士には、まったく寝耳に水だったのですか。

夫人　いいえ。研究所の資金を出してくれていたベックマン博士が主人を夕食に招待してくれたことがありまして、若者たちのことを話してくれたそうです。でも、主人には思いもよらないことで、とてもびっくりしていましたが、まさか、それが本当になるとは思ってもいなかったのです。

――何が決裂の原因だったのですか。

夫人　彼らは博士の経営が気に入らなかったのです。また、彼らと博士の間ではやりたいことが違っていたようです。彼らがつくりたいものと、博士が彼らにやってほしかったことの間

には大きな開きがあったのです。具体的にそれが何だったのか、私にはわかりません。それは彼らに聞いてください。

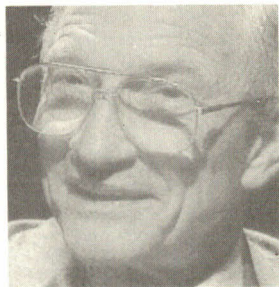
「チャンスがあれば、生かすべきだ」

ショックレー博士が最も打ちのめされたのは、その才能を最も買い、その人柄に最も信頼をおいていた研究主任のロバート・ノイスにまで去られたことだったという。ノイスこそが自分の後継者であり、どんなことがあっても彼だけは味方だと信じていたというのである。後にアメリカ半導体産業の父と呼ばれるようになるロバート・ノイス。彼は何を考えていたのか、この点に絞って、再びフェアチャイルド・マンたちに聞いてみよう。

グリニッチ　私たちは当時世間知らずの若造でした。そこで事を起こすなら、人望があって世間を知っている人物をリーダーに据えようということに衆議一決しました。ボブ・ノイスは半導体メーカーに勤めたこともあり、私たちのなかでは一番世間を知っていると、みんなが考えていました。そこでぜひとも彼を引き入れなければと勧誘したのですが、ボブ・ノイスは参加することにあまり乗り気ではありませんでした。というのも、彼は私たちの企みが資金面で問題があるのではないかと感じていたからです。やがて資金面でも可能性があるとわかって、彼も参加を決心したのです。

クライナー　ボブ・ノイスは円満で如才ない人柄でしたし、そのうえショックレー研究所の主任研究員でしたので、私たちの企てには最後まで同意しませんでした。

ノイス氏

シーゲル　ボブ・ノイスだけは、断固として集団退社には反対したそうです。ですから、みんながボブの説得には大変苦労したらしいのです。会社新設の起案書には、みんながアルファベット順に名前を連ねましたが、ボブ・ノイスの名前だけが最後に書かれているのです。それほど、間際になるまでボブ・ノイスは参加しようとしなかったのだと思います。

――なぜ消極的だったのでしょうか。

シーゲル　多分、原因はボブがアイオワ州出身だという要素が大きいのではないでしょうか。彼は保守的な土地柄と家族のもとで育ちました。ですから、抜き打ちで集団退社するなどということが常識的に許されるものなのかどうか、正しいことなのか、公正なことなのか大変悩んだのだと思います。あるいは、もしかしたら彼は怖かったのかもしれません。新しい会社をつくって出発をしてみても、人を裏切るようなことをした会社など、世間が相手にしてくれないのじゃないかと想像してね。

最もショックレー博士の恨みを買ったロバート・ノイスが、最後まで集団退社に反対していたことだけは確かな事実であった。ショックレー博士が真っ先に勧誘したのも、ロバート・ノイスであった。主任研究員としても集団退社を止める立場であった。しかし、最後にはショックレーを裏切ることになる。ここで、ロバート・ノイス自身に登場してもらおう。

――ご自分から辞めたいとおっしゃったのですか。

ノイス　いいえ、ほかの皆さんから説得されたのです。私は無理やり辞めさせられたようなものです。ショックレー研究所ではやり残したことが沢山あると考えていましたし、この組織のためには何でもやりたいと考えてましたので、むしろ私のほうから七人に対して辞めるなと説得したくらいです。しかし、説得が成功しませんでしたので、それなら一緒に辞めようと考えました。

――その後ショックレー博士とはいかがでしたか。

ノイス　いっさい口をきいてもらえませんでした。博士は私のことを裏切り者でフェアではないと思ったことでしょうね。しかし、チャンスがあるなら、そのチャンスを追求していくというのがアメリカの本質だと思います。私も辞めるときはとても気がひけましたし、辛い思いをしました。人に去られるということは本当に辛いものです。私も後にフェアチャイルドやインテルの時代に多くの人々に辞められまして、辛い思いをしましたが、長い目で見れば、チャンスを生かせるなら、それを喜んであげたいという気持ちになったものです。

集団退社などという方法は行きすぎだと考えて、最後まで反対したロバート・ノイスだったが、結局仲間たちに推されてリーダーとしての役割を引き受けた。設立したフェアチャイルド・セミコンダクタ社では、自らも革命的な技術を生み出しながら同時に優れた経営手腕を発揮し、新興企業を世界的な新鋭企業に押し上げた。一九六〇年代の半導体技術の多くが、フェアチャイルド社から生まれ、それらの技術を身につけた人材が、次々と会社を飛び出して独立した。彼らが、サンタクララバレーをシリコンバレーと呼ばれる電子産業地帯に変えていくのである。

ショックレー第二研究所も失敗

――ショックレー博士は、最後まで彼らを許さなかったんでしょうね。

夫人　ずっとあとになってのことですが、博士はこう言いました。「彼らは自分たちの道を選ぶために私を裏切ったんだが、このシリコンバレーには貢献してくれたし、そればかりでなく、アメリカのためにも大きな貢献をしたんだからね」と。

――彼らが果たした歴史的な役割は認めていたんですね。

夫人　けっして許しませんでしたが、認めてはいたんです。

――若者たちに去られたあと、博士はどうなさったんですか。

夫人　彼らが去ったあとも、博士は負けてはいませんでした。彼は気を取り直して、初めからやり直したんです。再び研究グループを集めて、第二研究所を建てました。多くのお金がかかりましたが、ベックマン博士が再び援助してくれました。二度目のグループは博士に忠誠を誓い、博士も彼らを信頼していました。ところが、彼らには才能がなく、何も生み出せませんでした。やがてお金が尽きてしまい、今度はベックマン博士が手を引きました。そのうちにインターナショナル・テレグラフ（ITT）がベックマンからこの研究所を買い上げ、組織をフロリダに移すという話が起き、結局、二度目のショックレー研究所も成功しませんでした。

一九五八年にショックレー博士は、社名を「ショックレー半導体研究所」から「ショックレー・ト

ランジスタ研究所」に変えて再起を期したが、開発も経営も挫折。結局、一九五九年に親会社のベックマン・インスツルメンツが会社をクレバイト社に売却、ショックレーも会社経営から身を引いた。六五年にはクレバイト社自体もＩＴＴに買収され、パロアルトの工場も一九六九年に閉鎖された。

――すると、博士は事業から手を引かれたんですね。

夫人　ええ。博士はスタンフォード大学に招かれて、教鞭をとるようになりました。最初はエレクトロニクスについて研究を続け、論文を八つ発表しましたが、同時に人類における人間の資質の問題といったものを扱うようになりました。

――半導体ではなくて人間の資質ですか。

夫人　ええ、そうなんです。ディスジェニック、スペルはDysgenicですが、非優生学的なということです。彼に言わせれば、これは退化だったわけなんですが、人類のなかに遺伝的欠陥を持った人々が多く生まれてきていることに、大きな危機感を抱いていたのです。アメリカの平均的な知的レベルが低下してしまっては、国家は衰退を余儀なくされるだろうと、彼は心から心配していたわけなんです。

――……？

夫人　私の言葉で説明させていただきますけれども、自分で自立できず、子供の教育はおろか、育児すらできない人たちの数が、全体として増えているのではないかと彼は心配していたのです。こうした知性の一般的なレベル低下が、ひいては国民全体の創造力をそぎ、国力を弱めるに違いない。彼はそう考え、その事実を立証し、対策を考えなければいけない。それが、学者の冷静なあり方だと信じていました。

――何がきっかけだったのですか。

夫人　多分、サンフランシスコで起きた一つの事件が、博士の疑問に火をつけたのだと思います。あるデリカテッセンに侵入した青年が無差別に銃を乱射して、罪のない人たちを理由もなく殺害した事件でした。

――なるほど。

夫人　なぜ、このようなことが起きるのか、彼はとにかく何でもすべて理解しないと気が済まない人ですから。彼はこうした人間の質の問題といった事柄も同じように理解しなくては気が済まなかったわけです。彼はこの研究を一九六三年から、ほとんど三〇年近くも続けてきたのです。

――大変な執念ですね。

夫人　政府機関の各種統計、心理学者、人類学者、社会学者などが出した資料、あるいは人口動態の研究所、経済学の研究機関、ＦＢＩの犯罪統計、あらゆる種類のデータを集め、分類整理し、比較研究をしていました。彼はとても優秀な数学者でしたから、緻密な統計処理で学問的に考察したのです。お望みならば、研究結果の一部をコピーにして差し上げますよ。確か、ファイルの八九番あたりに入っていると思いますから。

――お亡くなりになるまで、博士はこの研究をお続けになっていたのですか。

夫人　ええ。最初はスタンフォード大学もこの研究に資金援助をしてくれました。やがて一九七五年に博士が定年を迎えたとき、博士は続けて教鞭をとりたいと強く要請したのですが、大学は断りました。その理由を大学側はけっして教えてくれませんでしたが、私は博士の

研究が災いしたのだと思っています。その後は死ぬ間際まで自費で研究を続けてきたのです。

――大学を退職なさったあともですか。

夫人　そうです。大学を退職したあとも、彼は自宅の書斎で毎日長時間、その研究を続けました。ときとしては一日一六時間も机に座っていました。彼が倒れたとき、チェーンさん宛の手紙を書いていました。昨年の六月に五日間ほど入院しましたが、その直前まで働いていたのです。病気はがんでしたが、すぐに帰宅を許されました。すでに骨髄にまで転移していたのですが、脳には転移しなかったので、最後まで意識がはっきりしておりました。亡くなったのは八月でした。もう九か月にもなるんですね。

――……。

夫人　私は今は、チェーンさん宛の手紙を書いているのです。チェーンさんは『ロサンゼルス・タイムス』の方ですが、博士の主張に対して激しい疑義を書いてきたのですが、私は博士が書きかけた手紙に付記を添えて送ろうと思っているのです。

――博士の意志を継がれていらっしゃるんですね。

夫人　私は今年七七歳になりましたが、博士の業績を全部きちんと整理して後世に残すことが私の役目だと考え、毎日ここでその仕事を続けています。

▨ 晩年は人間の資質論に没頭

ショックレー邸の中庭には無数の草花が植えられ、その中を散策ができるように石畳の道が巡らされていた。庭の中央には一本の大木が空に伸び、その下に団らん用の椅子とテーブルがしつらえられ、枝には小鳥の餌箱が吊ってあった。よく見ると、石畳も椅子もテーブルも小鳥の餌箱も手づくりの素人仕事である。庭に面したガレージをのぞいてみると、そこにはあらゆる工具が揃っていた。

夫人　彼は日常生活でも常に改善し、工夫することを大切にしていました。網戸の小さな把手、便利な止め金、庭の明かり、小鳥の餌箱、数え上げればきりがありません。どんなことにでも問題を見つけ、研究し、解決するのが彼の生き方でした。それが何であっても構わないのです。何に対しても興味を抱き、解決したがったのです。

――なるほど。

夫人　博士は携帯用のテープレコーダーを愛用していました。どこに行くにもそれを持って行き、討論、対話、電話と、何でも録音しました。そして、彼は必ずそれを私に聞かせてくれました。ある日のことですが、私たちはレストランでテープを聞きました。テーブルの上に録音機を置き、二人でイヤホンを耳につけ、テープを走らせては聞き、止めては内容について話し合いました。飲物を飲んだり、聞いたり、話したり。私は私の意見を言い、彼は彼の考えを話してくれました。そのうち、ある客がやってきて「私たちは遠くからあなた方を見ていたんですが、なんと楽しそうに話すお二人だことと噂していたんですよ。よく

中庭に花が咲き乱れるショックレー邸

まあ、話すことがおありだこと」と言いました。でも、本当に私たちには話の種が尽きなかったのです。

老いたあともますますお互いを尊敬し、愛し合った老夫妻の姿がほの見えてほほえましい。

博士が論文に書き、主張し、発表した論旨は、アメリカ中から攻撃の対象になった。それでも博士はめげることなく研究を続け、結果を発表し続けた。やがて、博士には精神的な迫害だけでなく、身体的な危害さえ加えられることも起きてきた。それでも、博士はけっしてあきらめなかったのである。そうした周りの冷たい視線のなかで、唯一絶対の味方がエミリー夫人であった。

ある日、スタンフォード大学の学生たちが集団で博士を取り囲み、メガホンで博士の思想と行動を糾弾した。突然メガホンが故障して、声が出なくなった。すると博士は、つかつかと歩み寄って学生からメガホンを受け取り、ふたを

受賞は新婚時代、夫妻が幸福の絶頂にあった頃である

開けてアンプの故障を直し、再び手渡した。学生は一段と声高に叫び、博士は悠然と聞き入ったという。

あるとき、フランスの取材班がトランジスタの取材で博士を訪れた。収録の最中に、博士は持論をしゃべり始めた。取材班は、聞きたいのはトランジスタのことだからと、さえぎった。しかし、博士は持論の開陳をやめなかった。取材班と博士は口論になり、取材班は博士を口汚く「ファシスト」とののしった。その体験から、夫人はテレビの取材が嫌いになった。そのせいで、夫人は私たちの取材をなかなか受ける気持ちになれなかったというのである。

そうしたショックレー博士と深い親交を結んだ日本人の一人が菊池誠さんであった。トランジスタの発明を知った日本人の科学者や技術者は、それを生み出したバーディーン博士やショックレー博士を尊敬し憧れ、親交を結ぶようになった。菊池誠さんは渡米すると必ず、ショッ

クレー宅に立ち寄って議論を楽しんだ。博士が亡くなったときもすぐに渡米し、夫人を訪ねて博士の死を悼んだという。

菊池　彼は、人体の中で最も大切な部分は頭脳だと固く信じていましてね、僕がアメリカに行って電話をかけると、彼は必ず「君の脳の状態は今日はどうだ」って聞くんです。普通は「今日はどんな具合、ハウ・ドゥ・ユウ・フィール・トゥデイ?」ですね。それが彼の挨拶は「今日の脳の調子どうだい」なんですね。彼は、人間てのは脳が代表してると思ってるのね。だから「今日は私の脳は不調だ」って言ったら、「じゃ明日飯食おう」ってなるわけ。

——そんな風変わりなショックレーと菊池さんは?

菊池　ええ、非常に因縁は深かったです。彼とは亡くなるまで個人的な付き合いが深かったと思います。

——彼の信念というのは。

菊池　彼はね、アメリカ社会を愛する気持ちがとても強いんですね。彼の愛国心が言わせたんだと思いますね。「菊池、お前はこういうことを考えることあるか。自分の社会が、今の状態のままで行ったら、どうなるかってことを考えたことがあるかい」ってね。

——何を言おうとしたんですか。

菊池　彼がそのときに言ったのは、「ある人たちがどうしても家族を増やすことに精を出す。ところが、その人たちはそのこともあって貧しくなって、希望を失って、その日その日の暮らしに追われて教育を受けようとしない。ところが一方で、教育を受けて将来のことを考える人は、自分の家族を小さくしようとして、子供は一人か二人しか持たない。そうすると

菊池誠氏

ね、クオリティのいい人たちはどんどん減って、そういうことをちゃんと考えないクオリティの悪い人が増える一方になっちゃう。これはアメリカの将来にとって由々しき問題だと、菊池は考えないか」

――激しい考えですね。

菊池　非常にね。たとえばね、ある日レストランでご夫妻と会食した。御飯食べ終わる頃、ちょうど向かい合っているテーブルで若いカップルが御飯食べてたんですよ。食事を終えたショックレーは、ひとわたり見渡して「そろそろやるかな」と言うんですね。何をやるのかと思ったら、奥さんが「見ててごらんなさい、またビルが始めるから」って言うわけ。

――さて、何を始めるんですか。

菊池　見ていると、ショックレーがすっと向こうのテーブルに行きましてね、まず、自分はスタンフォード大学のウィリアム・ショックレー教授ですって、自己紹介をする。そして、「ちょっと座ってもいいですか」と聞いておもむろに座るんですが、まさかその段階で、相手はいやだとは言わないですよね。で、何を言うのかと思うと、「最近私は非常に真剣に考えていることがあるから、ちょっと聞いてくれませんか」って。

――それが、例の持論？

菊池　そう。「アメリカの将来は」って始まるわけ。それから自分の考えをとうとうとまくしたて、相手にはほとんど口をさしはさませない。そして最後に「どうですか、あなたも賛同して

くれるでしょうね」って。

菊池　押しつけがましいでしょう。僕はようやらないし、よしたほうがいいなと思うんだけど、自分が本当に信じたことは鬼神も恐れず、なんですね。

――アハハハハ。わが道を行く。

菊池　あるときテレビ出演をした。ところが、彼の論旨に反対した人たちが、ショックレーが発言するたびに猛然と騒いでは、ショックレーの発言を封じてしまった。しゃべれなくなった彼は、やおら紙に自分の意見を短い文章で書いてカメラの方に向けた。それ以後相手が騒ぐ間中、論旨を書いた紙を胸に掲げ続けた。結局、番組のほとんど初めから終わりまで無言のまま論旨を書いたパターンを掲げていた。僕はそのときアメリカにいて、それをテレビで見ていたんですよ。あとで、いったいどうしたんだと聞きましたら、「あのときはあれよりほかにしようがない。相手の声のほうが大きいんだから、おれがしゃべったって駄目だった。だから方法はあれしかなかったんだ」って言うんですね。負けない和尚っていうマンガがありましたけどね、彼は和尚さんみたいなところがあるんです。けっしてめげないし、強い人でしたよ。

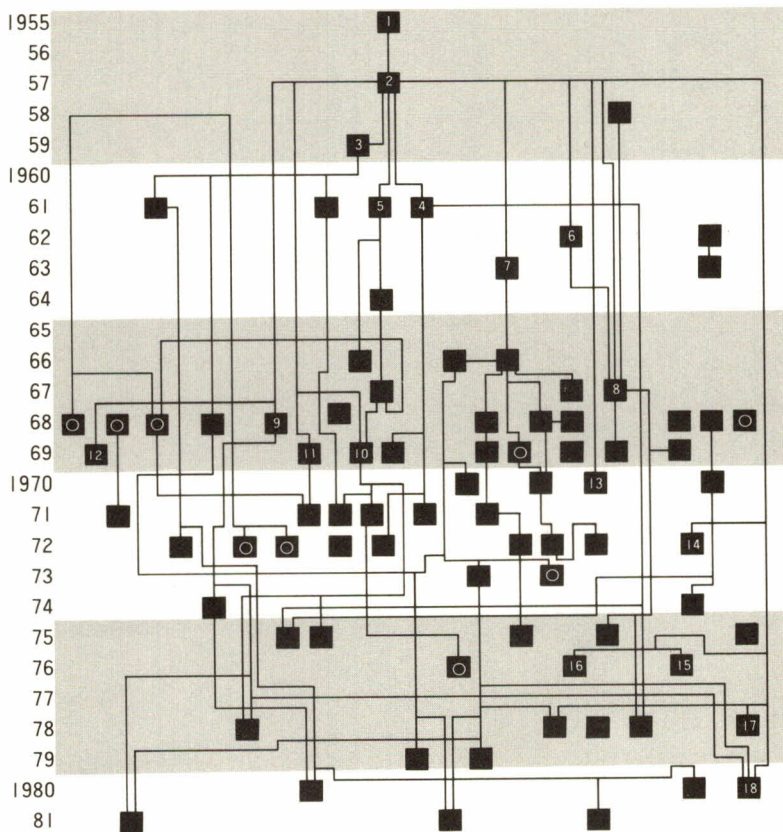
――それくらいの人だから、トランジスタの発明ができたってとこが。

菊池　ええ、粘着質というか胆汁質というか、あの人にして初めてできたことだと思いますね、トランジスタの発明は。一〇年以上もの間、失敗し続けてもまだあきらめなかったんですからね。

ウィリアム・ショックレー、一九一〇年ロンドン生まれ。鉱山技師の父と地質学者の母との間にできた一人息子。育った場所がパロアルト。カリフォルニア工科大学卒業後、マサチューセッツ工科大学の大学院で学ぶ。取り組んだテーマが「固体中の電子の運動」。一九三六年に博士号を取得し、ベル研究所に就職。真空管部門に配属された彼は、粘りに粘って半導体部門に転属。一九三九年一二月二九日の実験用ノートに「今日、真空管ではなく半導体を使った増幅器が原理的に可能だという考えが浮かんだ」と記載。彼が接合トランジスタを生み出すのは、実にこのときから八年後のことだった。彼の執念がなければ、トランジスタが生まれていたかどうか疑わしい。また、彼がアメリカ中からよりすぐりの人材をパロアルトに集めなければ、フェアチャイルド社もシリコンバレーも生まれなかったに違いない。彼の特異な才能と性格が、半導体産業の形成に重要な役割を果たしたことだけは確かなことである。一九八九年八月一二日、自宅で逝去。享年七九歳であった。

第5章

シリコンの申し子たち

図7　シリコンバレーの半導体企業相関図

1　ショックレー半導体研究所
2　フェアチャイルド・セミコンダクタ社
3　リーム・セミコンダクタ社
4　シグネティック社
5　アメルコ社
6　モレクトロ社
7　ゼネラル・マイクロエレクトロニクス社
8　ナショナル・セミコンダクタ社
9　インテル社
10　アドバンスド・マイクロデバイス社
11　フォー・フェイズ社
12　プレシジョン・モノリシクス社
13　インテグレイテッド・エレクトロニクス社
14　インターナショナル・マイクロサーキッツ社
15　スーパーテックス社
16　コングニション社
17　カリフォルニア・デバイセズ社
18　ＬＳＩロジック社

初仕事は自分たちの上司を雇うこと

ショックレー博士がマウンテンビューに蒔いた一粒の種が、やがて大きな産業に成長していく。図7は一九八一年の時点でシリコンバレーに割拠する、主な半導体企業の相関図である。全八二社。それらがいかにして枝分かれして増殖してきたかを表している。年代は上から下に増えている。左側の数字が西暦年号である。なお、この図はSEMI (Semiconductor Equipment Material Institute 半導体装置材料協会) が発行した資料を参考にして作成した。

たとえば、一番上の一九五五年という数字の右を見ると、四角い枠の中に数字の1を書いて[1]となっている。これは一九五五年ショックレー半導体研究所が設立されたことを意味する。一九五六年の右は設立企業なし。一九五七年にはフェアチャイルド・セミコンダクタ社設立。これが番号[2]番。この黒い島にはショックレー研究所から線が伸びている。つまりフェアチャイルド社は、ショックレー研究所からスピンアウトした人たちによってつくられた会社であるという意味である。

この[2]番のフェアチャイルド社からは九本の線が伸び、[3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13][14][15][16][17][18]など一六の企業につながっている。つまり、フェアチャイルド社の人材が直接つくった会社は、一六社だという意味である。たとえば、一九六八年の右に見える[9]インテル社は、フェアチャイルド社の実質的な経営者だったロバート・ノイスが、ゴードン・ムーアとともにフェアチャイルド社を退社して一九六八年に新設した会社である。

経営陣の中にフェアチャイルド社の出身者が一人でもいる企業には○印がついているが、その数が

ロバート・ノイスを中心に集まったフェアチャイルド八人衆（最初の本社の裏庭にて）

九社。一九八一年当時、シリコンバレーを形成する企業群のおよそ三分の一が、フェアチャイルド出身の経営陣であった。このことは、アメリカの半導体産業が発達するうえで、フェアチャイルド社がいかに大きな役割を果たしたかを見事に表している。では、新興会社フェアチャイルド・セミコンダクタ社の創業当初の様子を見ていくことにしよう。

写真は創立メンバーの八人。中央にロバート・ノイス。その左から順にジーン・ハーニー、ジュリアス・ブランク、ビクター・グリニッチ、ユージン・クライナー、ゴードン・ムーア、ジェイ・ラスト、シェルドン・ロバーツ。最初の本社の裏庭で撮影された。パロアルトの町のウエストマン通り五四五番地（図6では⑤）に建物が残っていた。写真のような小さな二階建て、ここが最初の製造拠点であった。ショックレー博士が最初はつくろうと考え、なぜか途中で放棄したシリコントランジスタの製造を目指した

のもここであった。やがて会社が急成長するにつれて工場が別の場所に増設され、ここが研究所になり、試験測定部門の建物になり、フェアチャイルド社の記念碑的建物として長く使われた。だが現在はコンピューターソフトの会社が入っていた。

ムーア　事業をするとか経営をするとかいったことには、まったく素人同然だったものですから、やってみると誤算ばかりでした。特に見積もりについては、あらゆる点でくるいっぱなしでした。第一に工場の広さでした。量産をするということについての知識が、まったくなかったのです。生産をするということがこれほどの広さを必要とするなど、思ってもいませんでした。私は最初の拡散炉を設置する区域を設定することから始めたのですが、これが大くるい。全部で一二基の拡散炉を設置して、六基を開発用に、残りの六基を生産用にと考えたのですが、やってみると、六基の拡散炉で生産をするなど、とうてい不可能なことでした。結局、拡散炉は一四基も必要だったのです。

——だれが社長になったのですか。

ムーア　もちろん、私たちのグループはだれ一人として、ビジネス経験を持った者はいませんでした。ですから、私たちがまず最初にしなくてはならなかったことは、自分たちの上司を雇うことでした。総合支配人を雇うために何人もの人物と面接しましたが、結局ヒューー半導体というダイオード製造会社から、エド・ボールドウィンという人物を引き抜いて雇いました。ところが、彼は私たちのもとを一年後に退職して、なんと自分で半導体会社を設立してしまったのです。それでやむなく、私たちはロバート・ノイスに総合支配人の仕事を引き継いでもらったわけです。

新会社の切り札はシリコン・メサ

ゴードン・ムーアは「私たちには何度も幸運の女神がほほえんだ」と語ってくれたが、一九五七年にソ連が人工衛星スプートニクを打ち上げたことは、新興のトランジスタ製造会社にとって三度目の「女神のほほえみ」になった。この打ち上げで激しくショックを受けたアメリカの軍事宇宙関係者が、ロケット技術の向上と電子機器の改善を緊急最大の目標としたからである。電子機器の超小型化、省電力化、超高信頼化に、莫大な予算を投入したのである。性能が少しでも向上すれば、価格に関係なく採用し、大量に発注したのである。

グリニッチ　私たちがショックレー博士のもとを去り、新会社を設立したのは、一九五七年の暮でした。会社の法的手続きが終わって、公式に会社ができた数日後のことでしたが、メンバーが私の家に集まって会議をしていました。ちょうどそのとき、ラジオとテレビが一斉にソ連がスプートニクを打ち上げたと伝えました。やがてアメリカは、電子機器のマイクロ化にまい進するのですが、その出発点とフェアチャイルド社の出発が同じだったことに、今象徴的なものを感じています。確かに当時の風潮は、名もない新興会社にとってはまたとない追い風になったからです。

——さて、何を製造することになったのですか。

グリニッチ　私たちは明確にシリコントランジスタをつくりたいと思っていました。そして、一番最初に手がけたのが、NPN型のシリコントランジスタでした。これはどこのメーカー

も話題にはしましたが、不思議なことに実際には生産しませんでした。特に幸運だったことは、私たちのライバルだったテキサス・インスツルメンツ（ＴＩ）社が、シリコントランジスタを過小評価したことでした。軍需産業向けには売れても商業的には重要ではないと考え、シリコンのメサトランジスタにはあまり熱を入れなかったのです。

――なぜだったのでしょうか。

グリニッチ　ＴＩ社は、ゲルマニウムのメサトランジスタを扱っていたからだと思います。当時はゲルマニウムのほうが生産性が高く、利潤率がよかったものですから、シリコントランジスタをやる必要がないと考えていたようです。

――なるほど。

グリニッチ　ＩＢＭもシリコンにはあまり関心がありませんでした。これはＩＢＭの研究所の所長から聞いたんですけれども、もともとトランジスタには、ゲルマニウムとかシリコンなどの材料を云々する前にパッケージに問題があり、信頼性には限界があると考えて、ＩＢＭはあまりシリコンには熱を入れないということでした。そんなわけで、ＩＢＭもＴＩ社も、両方ともシリコントランジスタの開発には消極的だったのです。

――しかし、フェアチャイルド社は？

グリニッチ　私たちは彼らの理論などまったく気にせず、シリコンのメサトランジスタをつくったのです。これが成功でした。だれもほかにやっている人がいないものを特性よくつくることができたのです。続いてすぐに、次のＰＮＰトランジスタの開発に着手しました。これにも成功し、おかげでライバルとの差はぐんと広がりました。これもまた、他社には同

じ技術がまったくなかったのです。

――シリコンの技術が他社にはなくて、フェアチャイルド社にはあった。

グリニッチ　いえ、私たちにもほとんど経験がありませんでした。ですからＩＢＭとしては、われわれを信頼したとはいうものの、大変な冒険だったと思います。私たちはそのような顧客にめぐり合えて、大変幸運でした。

すでにシリコンのメサトランジスタのつくり方については、前章で詳しく述べた。それは、ベル研究所が生み出した三つ技術、「酸化膜」「ガスによる二重拡散」「写真エッチング」などの上に築かれた、シリコントランジスタの画期的な製造法であった。したがって、当時はシリコンのメサトランジスタについても、ベル研究所が多くのノウハウを持っていた。新しい会社の命運をシリコン・メサの量産に賭けたロバート・ノイスは、ベル研究所から人を呼び、積極的に技術の習得をはかったのである。

シーゲル　私たちはメサトランジスタを試作製造するために、ベル研究所から特許の使用権を買いました。そして、メサについて学ぶために、私たちはコンサルタントとして人を雇いました。そして、ベル研からの情報を教えてもらい、メサのプロセスを学びました。コンサルタントと私たちは約六か月間一緒に働きましたけれども、その間に私たちは必要な情報すべてを吸収しました。

――それで？

シーゲル　最初に私たちが努力していたことは、メサデバイスを製造することでした。これが、かなめとなりました。２Ｎ６９６・６９７トランジスタです。これにＩＢＭが飛びつきました。これはシリコンだったので、軍にもすぐに受け入れられました。シリコンのメサ型

を、最初に商品化したのが私たちでした。これが半導体産業を一歩進めました。ゲルマニウムからシリコンへの転換を決定的にしたトランジスタだったと言って、過言ではないでしょう。

――だれがIBMに売り込んだのですか。

シーゲル　トム・ベイです。トムはサンクスギビングの頃、セールス担当者として入社して来たんですが、フェアチャイルド社に来るとすぐ、彼はいろいろな企業と連絡をとり始めました。出資者のシャーマン・フェアチャイルド氏が紹介してくれた企業や、自分自身が今まで知っていた会社などに連絡をとって、メサトランジスタの特徴と応用法を説いて歩いたのです。その結果、最初に取り合ってくれたのがIBMでした。トム・ベイがIBMとの話をまとめて戻ってきたのは、クリスマスの頃だったんですけれども、私たちみんなが夢中になりました。IBMが顧客になってくれたおかげで、翌一九四五年の夏にはフェアチャイルド社の事業は軌道に乗っていました。

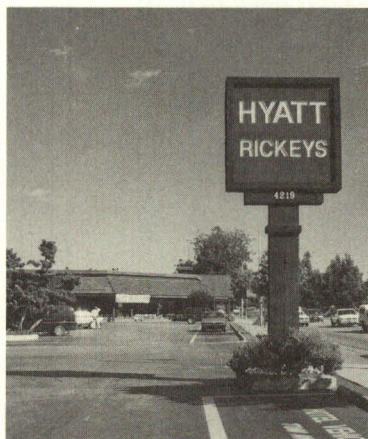
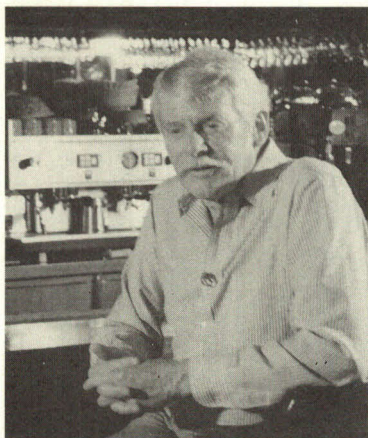
一個一五〇ドルの値段がついた

博士ばかりの創立メンバーは、ウィリアム・ショックレーがよりすぐった人材であった。しかし、全員が科学者か技術者であった。彼らが開発した製品を売りさばく販売のプロが必要であった。そこで、フェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社から派遣されてきたのが、トム・ベイであった。トム・ベイは西海岸の出身だったがMITで電子工学を学び、フェアチャイルド・カメラ&インス

ツルメント社に就職した。しかし、東海岸の気候になじめなかったトム・ベイは、カリフォルニアに戻りたいと願っていた。そんなとき、フェアチャイルドの重役から「八人の男たちがカリフォルニアで半導体の会社をつくるんだが、バックアップしてやってくれないか」と電話がかかってきた。彼にとっては願ってもない話であったが、彼は半導体のことは何も知らなかった。インタビューは彼の指定でレストラン・リッキーで行った。二〇一ページの地図の上では④番の地点である。

ベイ　ここレストラン・リッキーは、もともとスタンフォード大学関係者のたまり場でした。ですから、フェアチャイルド社ができる前からの数少ない社交場だったのです。フェアチャイルド社の最初の本社は、ここから車で一分のところに設けられました。二階建ての小さな建物でしたが、会議室も応接室もありませんでした。ですから、このリッキーが設立間もないフェアチャイルド社の応接間であり、会議室になりました。私たちはここでお客さんに会ったり、ミーティングをしたり、まことに好都合な場所だったのです。しかし、会社は年々膨張して次々と移転しましたので、やがてここから遠くなり、リッキーを使わなくなりました。

レストラン・リッキーには、大小三室のダイニングルームと大きな酒場があった。ショックレー博士のノーベル賞受賞を祝ったのも、ここの一番大きなダイニングルームであった。間接照明で明かりが暗く落とされた酒場には、沢山のボックスシートが並び、その中心に大きなグランドピアノが置かれていた。トム・ベイは、カウンターで冷えたビールを飲みながら当時を懐かしんだ。

ベイ　一番最初のセールスミーティングをここでやりました。二回目もそうだったと思います。一九五八年、五九年のセールスミーティングは、いつもここリッキーでやりました。もう、

フェアチャイルド社と至近距離にあり、社員たちがよく利用したレストラン・リッキー

リッキーのバー・カウンターで語るベイ氏

そのときの顔ぶれも思い出せませんが、私がフェアチャイルド社で最初のマーケティングマネージャーでした。

——なるほど。

ベイ　当時われわれには商品が三つありました。耐圧が中電圧と高電圧のメサトランジスタが二種類。これらは構造がNPN型でした。その直後に発売したのがPNPのメサ型でこれが一種類。これら技術的特徴とセールスポイントをセールスマンたちに教育したのも、ここリッキーでした。リッキーは新興フェアチャイルド社の最初の拠点だったのです。

——なるほど。

ベイ　私がこの会社に入ってから三〇日もたたないうちに、製品が売れ始めました。最初の注文は、IBMからでした。一個一五〇ドルの値段をつけて、メサトランジスタが一〇〇個も発注されたのです。一

個一五〇ドルという値段は、現在一〇〇万個のトランジスタを搭載しているLSIが、一〇ドルもしないことを考えると、法外な値段と言えますね。

ベイ　当時IBMが置かれていた状況を考えると、一五〇ドルという額もさほど理不尽な額ではなかったんです。IBMは軍需産業に関係しておりまして、温度特性の不安定なゲルマニウムトランジスタは使えませんでした。しかも、当時はゲルマニウム全盛時代で、高性能デバイスというものはすべてゲルマニウム製でした。どこも、本格的にシリコントランジスタをやっていなかった。だれもつくっていないものを、私たちが供給したのです。ですから、シリコンデバイスについては独壇場で、売り手市場でした。IBMはシリコントランジスタが必要なら、私たちのデバイスを買うしかなかったのです。フェアチャイルドの創設者たちがシリコンのメサトランジスタを狙ったのは、まったく図星でした。

――それでも、IBMは欲しがった？

ベイ　IBMはわれわれに、納入する三〇日前までNPNかPNPかを知らせてくれれば、どちらでも構わないと言いました。それで両方やってみたんです。両方やってみて、歩留まりがよくて信頼性が高くて、問題の少ないほうを選ぼうと思いました。その結果、ゴードン・ムーアがNPN、ジーン・ハーニーがPNPをやることになったのです。

――なるほど。

正解はNPN型か、PNP型か

NPN構造のトランジスタは、N型につくられたシリコン基板を高熱炉に入れて、ホウ素ガスの中で拡散させてP型層を形成させ、ガスをN型に変えてP層の上層をN型に変えるのであるが、これはガス拡散に使う物質が扱い易くて、PNP構造より比較的つくり易いトランジスタであった。ところがPNP構造のトランジスタは、基板にP型シリコンを使って二種類のガスで二重に拡散させるのだが、使うガスの処理が非常に難しく、製造が非常に困難なトランジスタであった。そんなわけで、最初につくり易いNPN構造のシリコン・メサトランジスタから着手し、次に困難なPNP型にとりかかることにしたのである。

グリニッチ　メサ型でも、NPN構造はPNP構造に比べてつくり易いトランジスタでした。PNP構造のように、チャネリングの問題がなかったのです。私たちがNPNの生産を始めたのは、非常に幸運なことでした。

——なるほど。

グリニッチ　PNPの開発担当者は、後にプレーナ法を発明するジーン・ハーニーでしたが、自分はすぐにもPNPをやりたいのだと、いつも文句を言っていました。しかしながら、私たちがPNPにチャンスを与えなかったことが、ジーン・ハーニーに幸いしたのです。もしPNP型を一番最初の製品としていたら、製造に移すまでに非常な困難に直面し、それこそ大変なことになっていたでしょう。それに比べてNPNははるかに製造が簡単で、性

能も高かったのです。ですから、フェアチャイルド社としては、まずNPNをつくって会社を軌道に乗せてから、他のものに着手するのが正解でした。

NPN型のシリコン・メサを担当したのは、ゴードン・ムーアであった。フェアチャイルド八人衆のなかで最後までロバート・ノイスと行動をともにし、後にフェアチャイルド・セミコンダクタ社をノイスとともに去り、インテル社の設立に参加するのである。

ムーア　私がNPN型のシリコン・メサを担当したんですが、難しかったのはNPNの各層に電極をつけるための金属膜をいかにしてつくるかということでした。当時はN型層とP型層につける金属膜は、それぞれ別種類の金属を使わなくてはいけないと考えられていたんですが、それでは工程が多くなり、あまりに生産性が悪いと考えました。PN両層に共通して使える金属はないものかと、さまざまな合金をつくっては試していたんです。

ハーニー　当時の技術がいかに未熟なものであったか、例をあげましょうか。PN両層に電極用の金属膜を付着させる必要があるのですが、蒸着用の金属、良質の銀をどうやってつくったか。これがね、アメリカの二五セント硬貨を使ったんです。当時、二五セント硬貨は銀でできていたわけです。ですから、それをビーカーの中で溶かして、非常にいい性質の銀にして蒸着させるのに使いました。しかし、その方法も一九七〇年までのことだったと思います。アメリカ政府が二五セント硬貨の質を落とすため、銀の含有量を激減させてからは使えませんでした。

ムーア　そんなある日、ボブ・ノイスがやって来て「純粋なアルミニウムでやってみたらどうか」と言ったんです。当時の常識としては、まったく異端な考えでした。しかし、やってみる

問題が起こるたびに八人衆は現場で協議した

と、アルミがPN両層にとてもよく付着したんです。その理論的な解明は、その後一〇年くらいはできませんでしたが、生産現場では理論など不要でした。これが低価格のトランジスタをつくることに画期的な貢献をしたのです。こうして私たちは、低価格、高性能、高信頼性という、他社がつくることのできないトランジスタを製造できたのです。

もう一つのメサ型であるPNP型のシリコントランジスタの開発を担当したのは、スイス人のジーン・ハーニーであった。このPNP型との苦闘のなかから、やがてプレーナトランジスタという革命的な技術を生み出し、それが集積回路につながっていくのだが、ここではまず、PNP型トランジスタのどこが難しかったのかを聞くことにする。

ハーニー　NPNのトランジスタでは起こらなかった問題が、PNPでは起こってきたということなんです。たとえば、N型層

にヒ素を使うことができませんでした。というのも、ガリウムには非常に変わった性質があって、酸化膜の中に入ってしまうのです。ですから、私はホウ素を使ったんですが、ホウ素もまた非常に難しい材料でした。三塩化ホウ素をガス状にして拡散炉の中の石英管の中に流してやるのですが、今度は石英管を溶かしてしまうんです。ですから、一、二時間ごとに石英管を取り替えなければなりませんでした。しかも、その毒性はかなり激しく、常に中毒の危険にさらされていたのです。しかし、化学に精通していなかった私たちは、怖いもの知らずでした。今ではこのガスは危険物に指定され、簡単には使えませんが、当時はだれもそんなことを気にしなかったんです。

——怖いですね。

ハーニー　そればかりじゃありません。今でも覚えているんですが、メサ型をつくるときは黒いワックスを使うんです。ウエハー上につくられた各トランジスタの中心をワックスでカバーするのですが、作業のあとは手はワックスで真っ黒。これを流し場でトリクロルエチレンで洗ったんですね。現在ではトリクロルエチレンは体に危険と言われていますでしょう。

——公害の元凶とも言われていますね。

ハーニー　ホウ素を使うプロセスでは別の問題がでてきました。三塩化ホウ素を使うとき、九五パーセントの窒素、三パーセントの酸素、二パーセントの水素、その中に微量の三塩化ホウ素をガスにして添加するのです。このガスの配合比こそ、ノウハウ中のノウハウだったのですが、ちょっと注意を怠ると、大爆発。

——ドカーンですか。

ハーニー　そうです。なにしろ高熱炉の中に水素と酸素を同時に流そうというわけですから、窒素の量が落ちて相対的に酸素と水素の量が上がったりしようものなら、たちまち爆発というわけです。ガスの流量計をにらみながらやるんですが、それでもやってしまうんですね。あるときなど、窒素ガスがなくなって、炉の中で酸素と水素が反応して、炉のてっぺんから吹き上げたんです。フェアチャイルドの建物には、今でも爆発の跡が幾つか残っていますよ。

どこもまだ成功したことのないメサ型シリコントランジスタの製造に最初に成功したのが、ゴードン・ムーアたちのチームが担当したNPN型であった。しかし、その歩留まりはけっして高いとは言えなかった。当然コストがかさみ、価格は想像を絶する値段となった。一個一五〇ドルでIBMが買ってくれたトランジスタは、真空管の何十倍もする値段であった。

――生産開始当初の歩留まりはどれくらいだったのですか。

グリニッチ　トランジスタの初期の時代には、ウエハーはかなり小さく、生産歩留まりも非常に低いものでした。ほんの数パーセントの歩留まりにもかかわらず、生産を続けることができたのは、それでも需要があったからです。トランジスタの値段が高くても売れればいいわけで、フェアチャイルド・トランジスタの最初の発注は、一個当たり一五〇ドル（当時の円レート換算で五万四〇〇〇円）で売れました。これは当時、世界中に同じようなものはどこにもなかったからです。

――歩留まり数パーセントで経営が成り立つのは、独占商品だったからですね。

グリニッチ　そうです。現在、新しく事業を始めようとする者にとっては、こんなに低い歩留ま

りでは、絶対に立ち行かなくなったでしょう。

――IBMさまさまでしたね。

グリニッチ　その通りですね。しかし、IBMのほうでも喜んでいたのです。彼らは当時、トランジスタをさまざまな宇宙用の電子機器に利用していましたので、たとえ一五〇ドルでも、フェアチャイルド社のようにトランジスタをつくってくれるところが見つかって、好都合だったのです。

軍事用の独占商品で頭角を現す

なぜIBMがシリコントランジスタに注目したのか。理由はコンピューターのメモリーにあった。エナメル線でつくった網戸を想像してほしい。無数のエナメル線が縦と横に交差しており、リング状につくられた豆粒ほどの磁性体「フェライト・コア」が各交差点にまたがっている。フェライト・コアのリングビーズ一個一個が記憶素子として働くのだが、欠点は形が大きくなることと、それを駆動する装置に大電力が必要だったことである。装置は数多くの真空管を使っていたので、電気を食ったのである。軍事用のコンピューターをつくっていたIBMは、このコアメモリーの記憶装置を小型で小さな電力で動くものに変えたいと考えていたのである。後にIC技術が登場すると、多くのトランジスタをシリコンチップの中に集積できるようになり、コアメモリー自体もトランジスタに置き換えられて、メモリー機能がシリコンの中に集積されるのだが、このときは磁気コア自体ではなく、それを駆動する装置のほうをトランジスタに替えようとしたのである。

ハーニー　当時、コンピューターの記憶装置は、コアメモリーと呼ぶ磁石でした。無数の細い電線が蚊よけの網戸のように縦横に走っていて、各交差点ごとに小さな磁石がついている装置でした。交差点の磁石一個が記憶素子としての一ビットでした。そして、このコアメモリーを動作させるには、大きな電力が必要でした。もし、これをトランジスタのシステムに置き換えたら、少ない電力で確実に動作する信頼性の高い記憶装置ができるのではないか。フェアチャイルドでは、トランジスタの応用としてコンピューターメモリーを考えていたのです。この考えに、ＩＢＭが非常な関心を寄せました。やがて、私たちがシリコンのメサトランジスタの試作品を完成させると、それを見たＩＢＭはすかさず、一個一五〇ドルだったと思うんですが、その値段で一〇〇個の注文を出してきました。ＩＢＭの注文をとってきたのが販売担当のトム・ベイでしたが、私たちは非常に元気づけられ、誕生間もない新会社の行く手がバラ色に見えました。

あらゆる製品は、開発初期には量産効果による価格低下は期待できない。したがって、先行き大量の需要が確実に保証できないかぎり、普通は量産に入れないのが常識である。この常識に当てはまらないのが、軍事用製品の開発であった。軍事用コンピューターを開発していたＩＢＭは、性能と信頼性さえ満足できれば、価格にはまったく注文をつけなかった。どのような価格をつけても、言い値で買ってくれたのである。特にソ連のスプートニク打ち上げ以後は、その傾向がいっそう顕著になった。一九六〇年代のアメリカで半導体に関する新技術が続々と生まれたのも、そのような事情に支えられていた。

ベイ　当時、メサトランジスタのビジネスで一番問題になっていたのは、価格をめぐる問題では

ありませんでした。早い話、価格なんかいくらでも売れたのです。なにしろシリコントランジスタは一〇〇パーセント軍事用だったからです。逆に、こんな高価なトランジスタを大量に買ってくれるところは、軍需しかありませんでした。軍事関係者だけが、金に糸目をつけずに買ってくれました。彼らは温度特性の良好なシリコンが絶対に必要であり、それをつくれるのは私たちしかいなかったのです。温度特性に加えて彼らは作動スピードも問題にしましたが、この作動スピードの性能という点に関しては、私たちは六〇年代を通じて最初からリーダーであり続けました。

——フェアチャイルド社が、シリコントランジスタの独占メーカーだったんですね。

ベイ　そうです。ちょうどこの頃、空軍はミサイル搭載用の電子機器のマイクロ化を進めていましたが、彼らが要望するトランジスタを供給できる会社はしばらくの間、フェアチャイルドだけだったのです。当時、フェアチャイルド社の名を一気に高める有名な出来事がありました。それは、ミニットマン・ミサイルに搭載するトランジスタ二種類の開発が、わが社に発注されたことでした。ミニットマン・ミサイルの計画に関する半導体関連の契約では、全メーカー中最大のものでした。それは会社の信用を高めるうえでは、何ものにも替えがたい事柄なので、あらゆる関係企業が必死で獲得したがったのですが、いとも簡単にフェアチャイルド社が指名されたのです。これが、フェアチャイルド社を急激に発展させるきっかけになりました。この当時のわが社の規模は、年間売上がせいぜい一五〇〇万ドル程度の無名企業でしたが、この契約でフェアチャイルドの名が全国に広まり、注目される企業になっていったのです。一九五八年の暮から五九年の初めにかけての出来事でした。

こうして私たちは、巨大企業への道をひた走りはじめたのです。

――なるほど。

ベイ　最初の一〇〇個が出荷されたとき、これはもう私たちにとっては大事件でした。当時、従業員は三五人程度だったと思いますが、注文を受けたときには影も形もなかった製品でした。それが、およそ三か月足らずで、一〇〇個のメサトランジスタをつくって納入できたのです。文字通り不眠不休の毎日が続いた結果でした。ＩＢＭが切ってくれた一五〇〇ドルのチェック、これが私たちが手にした最初の収穫でした。一九五八年三月末か四月上旬のことです。

――皆さん、喜ばれたでしょうね。

ベイ　もちろんです。ただ、そのこと自体はそんなに儲かる話ではなかったんですが、フェアチャイルド社がたどる長い長い道のりの最初の一歩でした。しかし、それは当時の私たちにとっては大きな大きな一歩でした。

順風満帆、バラ色の未来

次に証言者として登場するマーシャル・コックスさんは、カリフォルニア工科大学で金属加工技術を学んだあと、経営管理学の修士コースでＭＢＡの資格を取り、一九六二年にフェアチャイルド社に入社。セールス部門に配属された。

半導体の知識はまったくなかった。最初の販売会議で製品の説明をされても、まったくのチンプン

カンプンであった。前途に不安を感じていると、隣の人が「私は二年もやっていますが、今もってさっぱり理解できません。でも、これはよく売れるんですわ」と慰めてくれた。
やがて、セールスマンがコックスさんを連れて、販売先を巡回した。ところが、行く先々でセールスマンの紹介が違っていた。ときに法律専門家、ときに財務専門家、ときにはなんと半導体の専門家。質問がコックスさんに集中すると、セールスマンがさえぎってうやむやにした。これがマーシャル・コックスさんの半導体人生の始まりであったという。
コックス　軍事市場がなければ、私たちフェアチャイルド社は、その研究や生産水準を今のレベルまで達成できなかっただろうと思います。というのは、製品があまりにも高価だったからです。大量に生産することによって製品のコストは下がり、商業的に競争できるようになるのですが、軍事的な需要がなければ、肝心の量産ができなかったのは明らかです。ですから、軍需こそがシリコントランジスタの成功に関して大きな役割を演じました。しかしながら、その後軍事市場はその重要性が低下していきました。当時のフェアチャイルド社にとって、軍事市場における収益が全体の七五パーセントを超えていたと思いますが、三年後にはおそらく二五パーセントに低下したと思います。軍事の次にやって来た大きな市場は、コンピューター市場でした。
――軍事的な要請がなければ、フェアチャイルド社はあそこまで成長はしなかったと考えていいですか。
コックス　そうですね。生産技術の向上とコストの低下は、彼らの注文がなければできない相談でした。

フェアチャイルド社の最初の本社（パロアルトのウエストマン通り545番地）

当時シリコントランジスタの需要は、軍需生産の分野に限られていた。一般市場では、まだコンピューターやトランジスタの使用には及び腰であった。シリコントランジスタの唯一の顧客が、軍需であり宇宙であった。インテル社会長のゴードン・ムーアさんが証言する。

ムーア　私たちが開発したシリコントランジスタや集積回路は、主に軍事用コンピューターのコア・メモリーの駆動装置に使われました。最初のミニットマン計画では、メサ型に始まって、続くプレーナトランジスタも大量に使ってくれました。集積回路を大量に使ってくれたのは、ミニットマン計画IIでした。これがなければ、集積回路をあれほど早く開発することはできなかったと思います。

――すると、軍需なくしてフェアチャイルド社なしですか。

ムーア　いいえ、そうではありません。半導体全体の歴史上では、軍事的需要が果たした役割はそれほど大きくなかったと思っているんです。ただ、確かに半導体産業の勃興期には、幾つか重要な役割を果たしました。なかでも大きかったと思うのは、軍という必ず買ってくれる得意先が存在したということです。

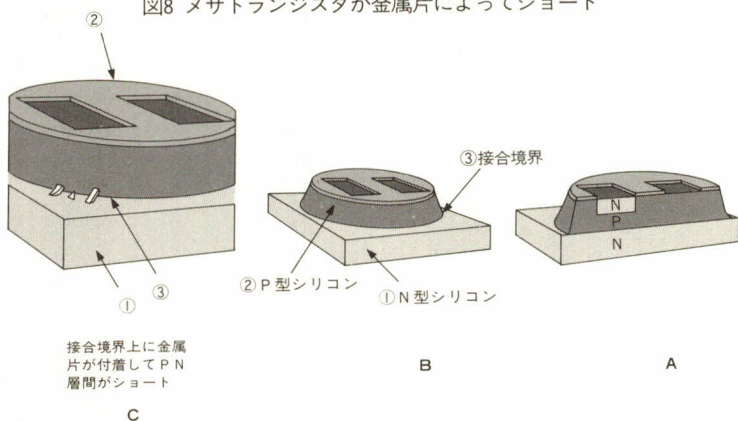
――なるほど。

ムーア　新しく開発する機器を必ず買ってくれる人がいるのは、大変重要なことでした。技術に対する励みになりますからね。当時は、半導体技術がいったいどの方向に発展していくのか、はっきりしていませんでした。実際、毎週のように技術の方向性が変わっているような有り様でしたから。そんな環境の中では、最初の商品を使いたがっているようなところがあるのは、とても重要なことでした。ただ、軍が担っていた役割は、六〇年代の半ばには消失しました。大きな一般市場が、充分に成長してきたからです。

UFOがメサの上に漂着した

二重拡散法によるシリコンのメサトランジスタは、フェアチャイルド・セミコンダクタ社の主力商品になった。シリコントランジスタの分野では、ほとんど競争相手がいなかった。製品の性能と信頼性が他を圧していたからである。だから、買い手のＩＢＭは、高価なトランジスタを言い値でどんどん買い取ってくれた。生産が需要に間に合わず、工場を次々と増設していった。順風満帆、会社の未来はバラ色に輝いて見えた。出荷した製品から得体の知れない劣化現象が頻発し始めたのは、そんな

会社急成長の真っただ中であった。
シーゲル　シリコンのメサトランジスタ製造で飛躍したフェアチャイルド社に、大きな危機が待ち構えていました。
——ほう。
ハーニー　私たちが出荷したメサトランジスタが、非常に奇妙な症状を示し始めたのです。ＩＢＭから返品が相次ぎました。装置に取り付けたあと激しい劣化を起こしたり、あるいはお客さんが受け取った時点で、トランジスタがショートしていたりしたんですね。缶封じを開けてみると、どれもこれもすべてＰＮ接合部がショートして死んでいたんです。
——何が原因だったのですか。
ハーニー　缶封じをするとき、缶の縁を溶接しますね。そのとき、目には見えないほど微細な金属微粒子が、缶の内側に付着したに違いない。これが時間の経過とともに落ちてきたのだと考えました。
シーゲル　当時はまだ樹脂封じのパッケージが完全ではありませんでしたので、金属缶をかぶせて空気を抜き、密封していました。これをヘッダーと呼びましたが、ヘッダーをかぶせて溶接するとき、金属の微粒子が缶の内側に付着したに違いないのです。
——金属ケースをかぶせて溶接すると、ときに微粒子が飛び散った。
シーゲル　そうです。一方、トランジスタを装置に組み込んで使い始めると、ヘッダーの中に収納されているトランジスタには電流が流れますから、必然的に磁界ができますね。すると、この磁界に引き寄せられるようにして、金属微粒子がトランジスタのＰＮ接合部に吸着さ

図8 メサトランジスタが金属片によってショート

れると、まあ、こう推定したのです。

——なるほど。

シーゲル　肉眼では見えない金属微粒子のことを私たちはUFO、未確認飛行物体と呼んだのですが、このUFOがメサの上に漂着し、PN接合部をショートさせたのです。

——UFOがフェアチャイルド社を襲った。

シーゲル　これは会社の命運を左右する重大な問題でした。というのも、私たちはミニットマン計画に深くかかわっていましたから、われわれがつくったトランジスタのトラブルは国家的な重大事に発展する可能性がありました。ですから、私たちは必死になって原因を究明し、対策を立てようとしたのです。そのプロジェクトを指揮したのがボブ・ノイスで、実

際に研究したのがジーン・ハーニーでした。

ハーニー　非常に深刻な問題になりました。もしその問題を解決できなければ、フェアチャイルド社は工場閉鎖に追い込まれ、倒産のやむなきに至ったであろうと、私は今でも思っているのです。会社をあげてこの問題の解決に取り組んだわけなんです。それは、生きるか死ぬかの大問題でした。

シリコンのメサトランジスタについては第3章で詳述したので、つくり方のプロセスについては省略するが、模型をもう一度見ていただきたい。図8Aがメサトランジスタの完成断面である。下からN型、中間がP型、その上にN型といった三層構造になっている。

この断面を閉じて完全模型にしたのが図8Bである。説明しやすいように、必要な箇所に番号をつける。下から①はN型シリコンの基板、実物は金属シリコンの鉛色である。その上にあるのがP型層、これが②。四角いN型シリコンの上に丸いP型層が重なっているから、PN両層が隣接する接合面は円であり、その接合面が外部にむき出しで表出しているのが③の接合境界である。

フェアチャイルド社を襲ったUFO現象とは、この③のPN両層の接合境界の上に金属の微粒子が舞い降りて発生した劣化現象であった。接合部分をさらに拡大した模型が図8Cであるが、板上の金属が接合境界をまたいでP型層とN型基板の間をつないでいる。PN接合の面を通るべき電気の運び屋が、金属片をショートカットで通ってしまうので、トランジスタとしては作動しなくなったのである。

鉛筆叩きからプレーナ型へ

飛躍に次ぐ飛躍をしていた急成長の会社が、ことと次第では一転して倒産しかねない、危機的状況に立たされたのである。問題解決の全権を委ねられたジーン・ハーニーの肩には、会社の命運が重くのしかかっていた。何はさておいても、目先の事態を緊急に解決しなければならない。

——それで対策は？

ハーニー　とりあえず、トランジスタ叩きをして急場をしのぎました。出荷前のメサトランジスタを一個ずつ測定器に差し込んで、トランジスタの頭を鉛筆で叩くんです。コツコツコツと約一〇秒間。この一〇秒間というのが大切なんですね。あまり長く叩きすぎると、みんな不良品になってしまう。つまり、この一〇秒叩きで落ちかかっている微粒子を落として強制的に劣化させて、出てきた不良品は取り除いて出荷しようと考えたわけです。

——なるほど。

ハーニー　まあ、これでお客様には一応納得していただきましたが、根本的な解決ではありませんでした。ですから私たちは、メサ型のＵＦＯ現象の根を絶つ根本的な解決手段を見つける必要があったのです。

——一〇秒叩きのほかには方法がなかったのですか。

ハーニー　チップの上に保護膜を塗ってカバーしようとしたり、いろいろなことを試みたんですが、うまくいきませんでした。変な物質を塗ると、別の化学的な問題が起きてきたり、ほ

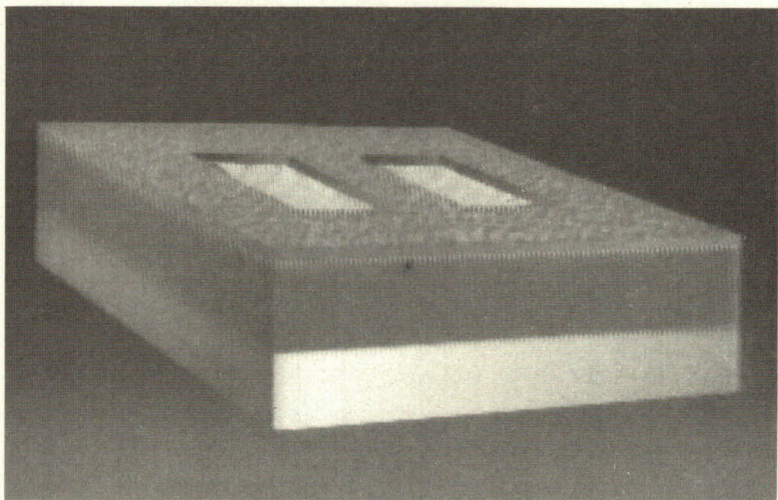



図9　完成直前のメサトランジスタの模型

こりが付着したり、かえって信頼性を損なうという結果になってしまいました。ですから、結局一〇秒叩きに結論が落ち着いたのです。しかし、この一〇秒叩きは大変な企業機密でした。今だから明かせるノウハウだったのです。

われわれの前で、ジーン・ハーニーは鉛筆打法のノウハウを実演してくれた。ヘッダーを溶接するときに飛散した金属微粒子が、ヘッダーの内側に付着していた。それを出荷前に鉛筆で軽く叩いて、あらかじめ落としてしまおうというのである。そのうえで不良品を除去し、良品だけをＩＢＭに納入すれば、出荷後のショートは防げるに違いないと考えたのである。事実、これは効果的ではあったが、多く叩いたり、強く叩きすぎたりすると、全部不良品になりかねないので、その叩き方が重要だった。その強さと回数が、会社の重大な機密だったというので

ある。

原因は推定できても対策が立たなかったため、とりあえず姑息な対症療法で一時しのぎをするしか方法がなかったのである。金属微粒子がトランジスタ表面に漂着しても、ショートしないような構造ができないものだろうか。こうジーン・ハーニーが考えたことが、プレーナトランジスタの出発点であった。

シーゲル　このUFO現象の原因追求と対策にあたったジーン・ハーニーは、やがてシリコン表面の酸化膜を除去しないという方法に行きつきました。メサ工程では、台地状にエッチングで除去していました。半導体のある場所だけを黒いワックスで覆って、フッ酸の希釈液に漬けると、トランジスタ部分以外の酸化膜が削り落とされるというわけです。

――なるほど。

シーゲル　この作業をしながら、ジーン・ハーニーはひらめいたのです。彼は「どうしてわれわれはこんなに一生懸命になって、酸化膜を取り除こうとしているんだろうか、これを除去しないほうがよいのではないか」と言い出したのです。

――なるほど。

シーゲル　ある日ジーンは「全体を酸化膜でカバーしたうえで、必要なところだけに窓を開けて不純物を拡散すればいいのだ」と声を上げました。この瞬間、彼の頭の中ではメサトランジスタがプレーナに変身したのです。

前ページの図9は、メサトランジスタが完成する一歩手前の模型である。表面に出ている二つの電極のほかはすべての構造が酸化膜の下にあり、側面以外は完全に外界から遮断されている。この状態

なら、金属の微粒子が舞い降りても何の障害も起きない。金属微粒子が付着する場所は酸化膜の上であり、それは電気を通さない絶縁物だからである。
しかし、メサトランジスタでは、これを次の工程で電極周辺部分を除く酸化膜を薬品で処理して削り取り、その結果、トランジスタが台地（スペイン語でメサ）状にでき上がる。台地状にするからメサ型というのだが、それにしても、なぜ台地状にエッチングしなければいけないのか。
その理由はこういうことである。P型層の底面積が大きすぎると、N基板との間の静電容量が大きくなり、高周波特性の悪いトランジスタになった。そのためP型層の底面積を可能なかぎり小さくする必要があり、それで電極部以外のP型層を削り取るのが、メサ型トランジスタの製法上の常識であった。

酸化膜で汚染をシャットアウト

しかし、ジーン・ハーニーはふと疑った。もしも酸化膜をエッチングする前の状態でトランジスタが動くなら、これほど望ましいことはない。なぜ、せっかくの酸化膜をわざわざエッチングして、台地状に削り取ってしまうのか。台地状にするから接合部がむき出しになって、微粒子にやられるのだと考えた。すべての構造を酸化膜の下につくってしまえば、トランジスタ全体を外界の汚染から完全に遮断できるではないか。そうだ、すべての構造を酸化膜に下につくり込む方法を考えよう。これが、ジーン・ハーニーの新たな目標になった。
グリニッチ　シリコン・メサトランジスタでは、酸化膜をすべて取り除くのですが、プレーナ法

ではそれを取り除かないというのが、彼の思いつきでした。他のすべての偉大な発見と同じで、非常に単純なものでした。最善の方法とは、何事によらず単純なものなのです。

ハーニー　私は当時、酸化膜とマスキングも担当していました。そんなわけで私は、自分のトランジスタをつくったとき、酸化膜をどうして取ってしまわなければならないんだろうかと疑問に思ったんです。

——なるほど。

ハーニー　それで、酸化膜を取らないで、つまり酸化膜をエッチングで台地状にする前の状態で、トランジスタにしてみたのです。すると、あのヘッダーを叩く信頼性テストをやってみても、支障が何もなかったんです。これじゃ、酸化膜を取る理由は全然ないじゃないか、と思ったわけですね。

——なるほど。

グリニッチ　ちょっと皮肉なことですが、ベル研の人たちも本質的にはプレーナトランジスタと同じようなものを研究していました。にもかかわらず、その研究を途中で放棄してしまいました。生産につながらないと簡単に考えたからです。しかし、結果はまったく反対で、これこそ最も生産に適したプロセスだったのです。ですから、多くの人が驚きました。フェアチャイルド社はそれを武器に市場を独占し、しかも、その技術が必然的に集積回路へとつながっていったのです。

ベル研究所も一度は同じ発想に立ちながら、やがてそれを放棄するのだが、それはA T＆Tという巨大企業から供給される潤沢な資金をもとに、ゆうゆうと研究をする「あとのある」ベル研究所と、

「あとのない」新興企業フェアチャイルド社との違いではなかったろうか。

ハーニー　私が考えた「酸化膜を残す」という方法は、明らかにベル研の指示に反していました。

——ベル研の文献やアドバイスは逆だったのですか？

ハーニー　そうです。どうしてそういったことになったのかあとになってわかったんですが、ベル研では酸化膜の研究で大変苦労したことがあったのですね。それはNPN構造にするときのことなんですが、N型基板にP型拡散をして、そのあとN型拡散をするんですが、最後のN型層、つまり二度目の拡散にリンを使ったんですね。ところが、リンを拡散させると、リンは窓の中のシリコン基板だけじゃなく、肝心の酸化膜にも入ってしまい、トランジスタの特性がガラッと一変してしまう。そんなわけで、酸化膜を残しておくなどもってのほか、余計な部分はできるだけ除去してしまおうと考えたらしいんですね。

——なるほど。

ハーニー　ですから、当然私たちもリンが酸化膜に及ぼす影響について研究したんですが、その過程で、酸化膜にリンを入れるとリンが酸化膜の中の不純物、たとえばナトリウムなどの活動を封じてしまうということもわかったのです。これは後に、PNP構造のプレーナトランジスタやMOS・FET（金属酸化膜の電解効果トランジスタ）のナトリウム対策には、絶大な威力を発揮したのです。酸化膜に微量のリンを含ませることで、安定した作動をさせることができたのです。

——なるほど。

ハーニー　私たちの最終目標は製品を量産することであり、ベル研の科学者たちは基礎研究をし

て、技術論文を書くことが最終目標だったんです。つまり、彼らにとっては理論的な追求が主であり、製造上の困難を一刻も早く解決して、製品の改善に直結させようなどとは、あまり考えなかったのだと思います。

この話のなかで、このパートには関係ないが、触れておいたほうがよいと思われる重要な点がある。それはナトリウム対策のことである。やがて登場するプレーナトランジスタとか、あるいはMOS・FETなど、酸化膜が重要な役割を果たすトランジスタでは、酸化膜の中をナトリウムが自由に動きまわるため、動作が安定しないという奇妙な現象に見舞われたのである。特にMOS・FETの生産では、ナトリウム・パニックという言葉があるほど、工程にナトリウムが侵入すると、突然歩留まりがゼロになったり、出荷後に突然劣化して動作がダウンする事態が頻発した。この話は下巻に詳述するが、MOS・ICの将来にかかわる重大事であった。この原因を最初に突きとめ対策を確立したのが、フェアチャイルド社であった。それは、ジーン・ハーニーさんの証言によれば、ベル研究所の研究結果を注意深く生産に結びつけた結果であったという。学術研究が中心のベル研究所と、社運がかかっている新興企業の生産現場では、事柄の追求姿勢がおのずから違っていたのだと、ジーン・ハーニーさんは言うのである。

ムーア　ジーン・ハーニー博士は、どちらかというと理論屋タイプで、実験屋ではありませんでした。ですから彼は、「実際につくる」というより、物事を理論的に考えて方向を決めるのが得意でした。常にノートの中でものを考えていたんです。その典型がプレーナトランジスタの発明だったのです。それもまた当時の常識に反するため、だれも試みたことのない方法でした。構造は単純でもつくるのが難しいため、簡単には実現しなかったのです。

——なるほど。

ハーニー　先日、当時の研究ノートが見つかりまして、私がプレーナ・プロセスをいつの頃から考え始めたのかがわかりました。このノートによれば、考えが浮かんだのが一九五七年一二月一日、フェアチャイルド社創立直後のことでした。しかし、実際にものができたのはその三年後でした。

——考案した時期は非常に早かったのですね。

ハーニー　そうです。あとになってしばしば、プレーナ・プロセスを開発するために、フェアチャイルド社はどのくらいのコストをかけたのかと聞かれましたが、いつも「それはゼロです」と答えました。なにしろ、プレーナ・プロセスの開発プロジェクトなど、まったく存在しなかったのです。おぼろげな輪郭のアイディアがUFO退治の過程で具体化し、やがてメサトランジスタの持つ欠陥を根本的に解決する手段として完成したのです。

——何が難しかったのですか。

ムーア　プレーナトランジスタをつくるためには、マスク操作が四工程も必要でした。そうした技術が、当時はまだありませんでした。実は私たちが先行したNPNのシリコン・メサもマスク操作が必要でしたが、二工程でよかったのです。そんなわけで、プレーナトランジスタの発明は、ジーン・ハーニー博士のノートに書きつけられたまま、実現可能な技術が開発されるのを待たなくてはいけなかったんです。

——マスク操作の何がポイントだったのですか。

ムーア　それは、写真エッチングの技術でした。私たちはシリコンのメサ型をつくると決めてか

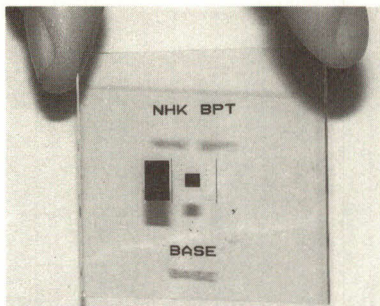
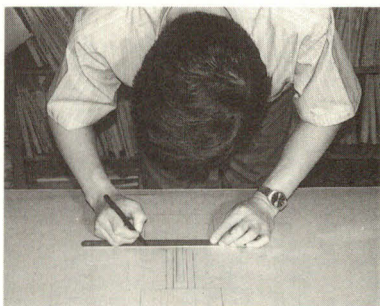



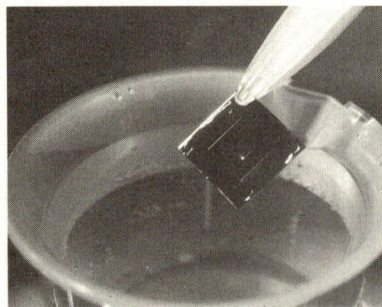
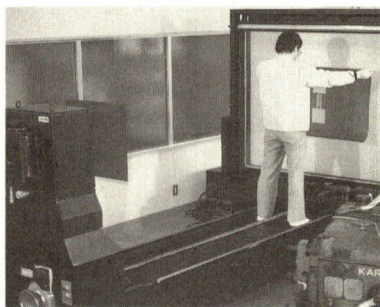
図10

A　酸化膜に窓を開けるため、その図形を描く

B　窓の図形の紙の上に真紅のフィルムを重ね、窓の図形に合わせてフィルムを切り取る

C　フィルムをガラス乾板に転写する

D　でき上がったガラス乾板がマスク

E　マスクに感光剤を塗って露光し、現像、フッ酸処理をする

F　酸化膜の必要な場所に窓が開いたシリコン基板

ら、写真エッチングの技術に非常な力を入れて取り組みました。やがてこの技術に習熟し、新しい工夫も加え、これを連続して行えるようになりましたが、これがプレーナトランジスタの実現に大きな役割を果たしたと思います。フェアチャイルド社独自の新しい技術を、いろいろと開発したのです。

劣化を克服した革命的トランジスタ

これまでマスク操作だとか写真エッチングといった言葉が何度も登場したが、ここで、その実際を見ておくことにしよう。すぐあとに出てくるプレーナトランジスタでは、この作業を何度も繰り返し使うのであるが、それを総称してマスク操作というのである。

まずシリコンの単結晶を製造するときに、N型物質を混入することでN型シリコンにする。それを薄くスライスして基板を作る。これを炉の中で水蒸気にさらしながら加熱すると、シリコン表面に酸化膜ができる。これに窓を開けて、そこからガス拡散で伝導物質を拡散させるのだが、その窓の図形を紙に描いているのが写真Aである。これは一枚のシリコンウエハーに一個のトランジスタをつくる場合のパターンだが、量産用には一枚のウエハーに何十個もつくるために同じ図形が列をなして並んでいる。

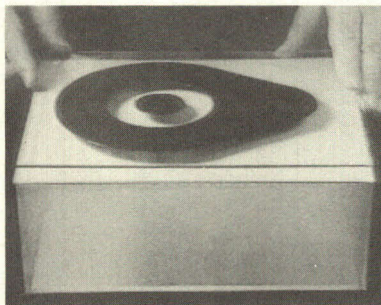
この紙を下敷きにして、その上にルビーという真紅のフィルムを重ねる。フィルムは二重になっていて、透明フィルムの上に真紅のフィルムが密着している。下敷きの図形に合わせてカッターで表面を切り、真紅のフィルムをはがす作業が写真Bである。そして、できたフィルムを巨大カメラにセッ

図11-A　酸化膜のついたN型シリコンの基盤に感光剤を塗り、1番目のマスクを重ねて露光する

B　現像、フッ酸処理をすると、マスクの黒円部分に窓が開く

C　ボロンのガスで熱拡散を行うと、NPの二層構造になる

D　再び酸化膜をつけ、感光剤を塗り、2番目のマスクを重ねて露光する

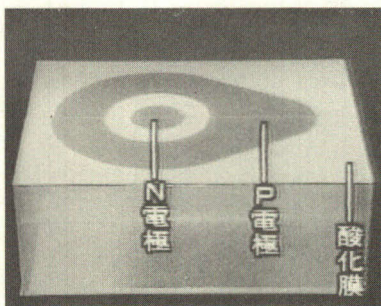
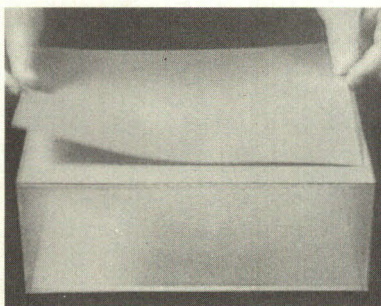
E　現像、フッ酸処理をすると、小さな円の窓が開く

F　再びN型ガスで熱拡散をすると、NPNの三層構造が酸化膜の下にできる

G　再び酸化膜をつけ、感光剤を塗り、露光、現像、フッ酸処理をする

H　中央のＮ型層の上に小円の窓が開き、Ｐ型層の上にリング状の窓が開く

I　金属膜を蒸着させ、感光剤を塗る

J　最後のマスク図形を重ねて露光し、現像、フッ酸処理をする

K　金属膜は電極部分だけが残り、洗い流された部分は酸化膜が露出する。その断面構造

L　完成したものは表面が平原状（プレーナ）

トして、ガラス乾板に転写する作業が写真C。できたガラス乾板が写真D、これをマスクというのである。もっと初期の頃には、紙の上に描いた図形を黒く塗って、それを写真撮影してガラスマスクをつくった。

このマスクを露光装置に装塡している写真がE。この装置には感光剤を塗ったシリコン基板をあらかじめセットしておき、マスクを重ねて光を当てるのである。感光剤には光が当たって硬化するポジタイプと、逆に光が当たった場所が溶解するネガタイプがある。たとえば、ポジタイプを使うと、マスクの透明部分には硬化膜ができ、黒い部分には硬化膜ができないので、水で洗えば感光剤が流れ去る。したがって、マスクの黒い部分に相当する場所は、酸化膜の生地がむき出しのまま顔を出す。これをフッ酸液に漬けると、窓部分の酸化膜がフッ酸で溶かされてシリコン基板の生地が出る。こうして酸化膜の必要な場所に窓が開く。

写真Fは、フッ酸処理のあと水洗いをしたばかりのシリコン基板である。中央部に方形に窓が見える。酸化膜が取れてシリコン生地が顔を出し、窓の中だけ親水性に変わったために、水が付着しているのである。この状態で拡散炉に入れてP型ガスの中で加熱すると、窓中の表層部分だけ、N型シリコンがP型層に転化するのである。

メサ型のシリコントランジスタをつくる工程でも、この操作を二回使う必要があった。すぐに詳述することになるが、プレーナトランジスタをつくるときには、これを四回繰り返す必要があったのである。

では、プレーナトランジスタとは、いったいどのような技術なのだろうか。いかにすれば、すべての構造を酸化膜の下に内蔵することができるのだろうか。

ジーン・ハーニーが最初につくった涙滴型のプレーナトランジスタの製法を、拡大原理模型を使って説明してみよう。実際の生産ラインでは、一枚のウエハーに沢山のトランジスタをつくるのだが、ここでは一個について説明する。量産工場では、マスク図形は数センチ角のガラス乾板に、トランジスタの数だけ転写されている。

図11Aは、酸化膜をつけて感光剤を塗ったN型シリコンの基板に、第一枚目のマスクを重ねて露光するところである。すでに見たように、これを現像してフッ酸処理すると、マスクの黒円部分が密着した場所だけに図11Bのような窓が開く。この状態で拡散炉に入れてホウ素のガスで拡散すると、図11CのようにNPの二層構造になる。

ここで再び酸化炉に入れて酸化膜をつけ、感光剤を塗り、その上から二番目のマスク図形を重ねて図11Dのように露光。前と同じように現像し、フッ酸処理をすると、前工程でP型層に転化している大円の中に小円の窓が開く。これが図11E。この状態で再び拡散炉に入れてN型ガスで拡散すると、図11Fのように、下からNPNの三層構造が酸化膜の下につくり込まれている。

さて、問題はNPNの各層からいかにして電極を取り出すかである。一番上のN型層はすでに小円の窓が開いているから、ここから取り出せる。しかし、中間のP型層とその下のN型層からは、どうすればよいのか。ここでジーン・ハーニーが考えた方法こそが、やがて集積回路の技術に応用されていくキーポイントであった。

再び全面を酸化膜で覆って感光剤を塗り、図11Gのような二重リング状のマスク図形を重ねて露光し、現像、フッ酸処理をすると、中央のN型層の上には小円の窓が開き、P型層の上にはリング状の窓が開く。この状態が図11Hである。つまり、PN両層が表面に顔を出し、他はすべて酸化膜で覆わ

れている。この状態をコンタクトホールというのだが、これで配線用の通路を確保したことになる。

ここで今度は図11Iのように、金属膜を全面に蒸着させたうえで、再び感光剤を塗り、図11Jのように最後のマスク図形を重ねて露光する。これを現像しフッ酸処理をすると、電極部分の金属だけが残り、他の金属膜は洗い流されて下から酸化膜が現れる。この状態の断面構造が図11Kであり、完成したものが図11Lである。電極のほかはすべての構造が酸化膜の下に格納されている。メサ型が「台地状」であったのに比べ、新しいトランジスタは表面が「平原状」にできているので、プレーナ(平原状)トランジスタと呼ばれた。

この状態では、たとえUFOのような金属微粒子に襲われようとも、あるいは空気中の湿度が結露しようとも、びくともしないで作動する、信頼性の高いトランジスタが完成したのである。こうして、トランジスタ誕生以来、なかなか解決できなかった劣化の問題が解決されたのである。それは、半導体史上革命的な出来事であった。

一週間後にはプレーナ型へ転換

ハーニー　こうやって最初のプレーナトランジスタができたんですが、これをボブ・ノイスをはじめ上層部に認めさせなければいけませんでした。私もその頃には、アメリカ流のプレゼンテーションを身につけるようになっていましたから、作品公開をドラマティックに演出しようと思いました。当時は私の直属上司はゴードン・ムーアで、その上がボブ・ノイスでした。そこで私は、ドクター・ムーアに「おもしろいものをお見せしたい」と、もちか

「こうしてトランジスタを叩きつぶしました」とハーニー氏は実演入りで語った

けたのです。彼らは当時、私のやっていることにはそれほど大きな期待を寄せていませんでしたので、彼らの目を開かせる必要があったのです。

——さて、最初に何をしたのですか。

ハーニー　まず、漏れ電流を測定してみせました。その結果、漏れ電流がメサ型に比べて一〇〇〇分の一以下であることがわかりました。次いで、出力電圧を測定しました。これは、メサ型の一〇倍を超えました。ノイス博士とムーア博士の顔が次第に変わっていきました。彼らは非常に感銘を受けたようでした。

——さて、いよいよ見せ場ですね。

ハーニー　そうです。そこで私は、やおらプレーナトランジスタを一個机の上に置き、鉛筆でトランジスタの頭を叩きながら、「皆さん、これからは鉛

筆でトランジスタの頭を叩くなど、時代遅れというものです。いいですか、これを見てください」と叫びました。

――どうなさったのですか。

ハーニー　鉛筆をやおらカナヅチに持ち替えて、プレーナトランジスタの上からドカンと打ち下ろしたのです。

インタビューは実演入りであった。あらかじめ用意してあったトンカチを、トランジスタの上から振り下ろした。トランジスタはグシャッとつぶれた。つぶれたトランジスタを振りかざしては、身振り手振りの台詞入り。声は大きく、話す表情に屈託がなかった。

――さあ、どうなりました。

ハーニー　もちろん、トランジスタはペシャンコになりました。それをおもむろに取り上げて、測定器にかけました。

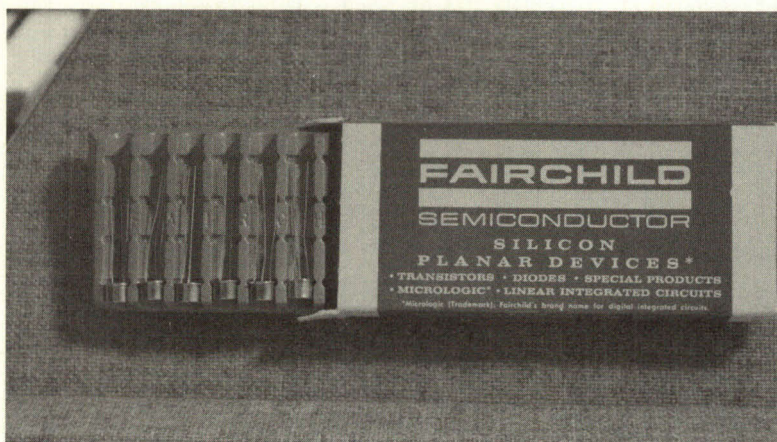
――動きましたか。

ハーニー　完全に。

――ドクター・ノイスは？

ハーニー　それはもう仰天しましたが、すぐに冷静になり、続いて同じ実験を繰り返しやってみるように要求しました。何個かハンマーでつぶしましたが、どれも見事に働きました。

――動かなかったら？

ハーニー　その可能性もありました。なぜなら、そういったテストを事前にやってなかったからです。私にとっては一世一代の大博打でした。今から振り返っても、もしそのときに失敗

独占商品として市場を席巻したプレーナトランジスタ

していたならば、また設計室に戻って三か月後に出直してこい、って言われたでしょうね。いずれにしても、私の賭は成功しました。

——会社としては？

ハーニー　彼らは非常に感動しまして、特にボブ・ノイスは、即刻メサ型のトランジスタ生産をプレーナ型にシフトする決断をしたのです。一週間後には、メサ型の生産をプレーナ型に切り換える決定が下りました。

——すばやい決定でしたね。

ハーニー　しかし、製造部門から強い反対がありました。その当時までにメサ型の生産歩留まりは五〇パーセントにまで上がっていましたから、製造部門としてはプロセスを変えたくなかったのです。また、プレーナ・プロセスはマスクの数がメサ型に比べて倍になり、拡散回数も増える

というのが、彼らの反対理由でした。

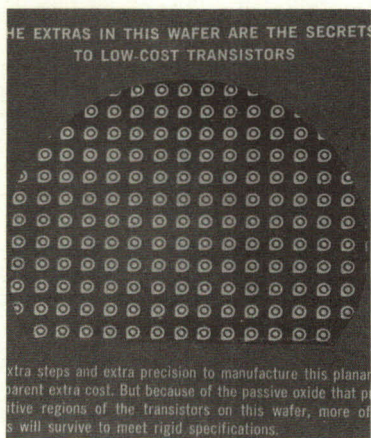
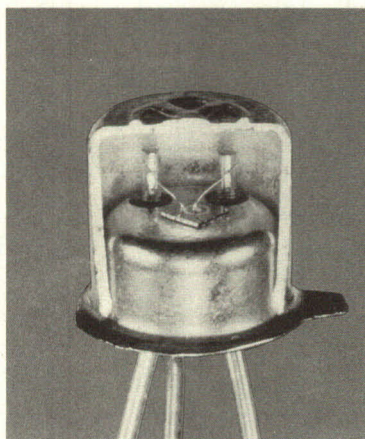
――でも、生産はプレーナに切り換えられた。

ハーニー　もちろんです。ただ、実際始めてみると、歩留まりが非常に低かったんですね。直径二インチのウエハーに一五〇個載せて生産したのですが、生産当初の歩留まりがわずか二パーセントでした。しかし、あらゆる新技術を量産するときは、初期の歩留まりは悲惨なくらい低いものなんですね。

――なるほど。

ハーニー　でも、私としても生みの親の責任がありますから、製造グループに転属して六か月間、量産技術の改善に熱中しました。製造グループに転属してまで量産に取り組んだのは、製造現場からプレーナ・プロセスに対する絶望と怨嗟（えんさ）の声が上がったからです。その結果、歩留まりは次第次第に上がって行き、メサトランジスタの歩留まりをはるかに超えるようになったのです。こうして、メサ型は次第に生産を縮小し、プレーナにその席を譲りました。

メサ型の劣化対策から生まれたプレーナトランジスタは、単に劣化をしないというにとどまらず、生産途中で汚染される危険がなくなり、生産歩留まりも劇的に向上したのである。

シーゲル　メサトランジスタは、大量生産には向いていませんでした。なにしろ、ウエハーの加工から組み立てまで、非常に時間がかかりました。それに比べてプレーナ型は、スペックはメサとほとんど同じでありながら、大量生産に向いていました。たとえばフォトレジストの技術を取り入れることで、メサ型では七転八倒した黒いワックス作業が、まったく必

右のウエハーを切り離し金線をつけ、缶封じにしたものが左の製品

要なくなっていました。そのうえ、製造過程における汚染については、絶大な強みを発揮しました。加工途中でデバイス表面に不純物が漂着しても、デバイスができないということがなくなりました。結晶表面が酸化膜で守られているため、製造工程をより確実に管理することができました。一方、メサのほうは加工途中でさまざまな汚染物質に襲われ、トランジスタが劣化する可能性に満ちていました。そんなわけで、メサがフェアチャイルド社を躍進させ、プレーナがフェアチャイルド社の危機を救ってくれたのです。

生産歩留まりが向上すると、当然製造コストは激減した。低コストでできる製品を、高価格で売ったのである。高性能で劣化無用のプレーナトランジスタは、いくら高い値段でも売れていった。たちまちプレーナ型が劣化の激しいメサ型を駆逐し、市場を完全に独占したのである。

ハーニー　メサトランジスタを大量につくるようになると、最初一個一五〇ドルもしていたものが、一個二五ドルにまで下がっていました。そんなときプレーナ型を登場させたのですが、これが一個一五〇ドルで爆発的に売れました。あっという間にメサトランジスタを駆逐し、トランジスタ市場をプレーナ型が独占するようになりました。当然のことですが、フェアチャイルド社は莫大な儲けを手にできたのです。

――なるほど。

ハーニー　この産業界に生き残るためには、常にトップ製品を持たなければならない。開発当初は、たとえその生産量が少なくても価格が高いためにトップを維持でき、やがて量産が軌道に乗ると歩留まりも改善され、それに応じて価格がどんどん下がり、莫大な利潤が入ってくる。トップ商品さえ手にできれば競争に負けることはないし、逆にそれがないと簡単に敗れてしまう。そうした半導体ビジネスにおける原理を、私たちはプレーナトランジスタの体験から学んだのです。

■最初の産業スパイ事件

これは余談になるが、ジーン・ハーニーさんは一九二四年生まれで今年六七歳、独身である。インタビューの場所としてアイダホの山荘を指定した。サンフランシスコから北にジェット機で二時間半飛ぶと、ボイス（Boise）空港に着く。そこから軽飛行機に乗り換えて三五分。サン・バレー空港は、標高二五〇〇メートル近い山々の麓にあった。そこは高原地帯。夏は渓流遊び、冬は広大なスキー場

空港まで迎えに来てくれたハーニー氏

と、大自然に恵まれたスケールの大きなリゾート地である。新緑の季節だというのに、山々には新雪が積もっていた。

空港には、ハーニーさんがドイツ製のキャンピング・カーで迎えに来てくれた。聞いてみると、三年前にはこの車を操縦して、女友達と二人だけでシルクロードを往復ドライブ。ローマから半年がかりの冒険旅行を楽しんだという。今年は北極圏まで旅をするのだと張り切っていた。

ハーニー邸は空港から車で一〇分の森の中にあった。丸太を組んで建てた豪邸は、スイスの山小屋風。中の仕事部屋には専用回線が入っており、コンピューターのスクリーンに向かってキーを叩けば、シリコンバレーと対話しながら仕事ができた。ハーニーさんは雄大な自然の中で、悠々と老後を楽しんでいた。

優秀な技術者の集団ではあったが、経営には素人だった若者たちは、先にゴードン・ムーア

アイダホのリゾート地にあるハーニー氏の山荘

が語ったように、何よりもまず自分たちの上司を雇わなければならなかった。そして、ダイオード会社から総支配人としてエド・ボールドウィンをスカウトしてくるのだが、彼は自分の部下を大勢引き連れてやってきた。一九五八年のことである。

ところが、彼らは翌一九五九年には集団で退社。そのとき、シリコン・メサの技術ノウハウを詳細に記した「製造ノウハウ」の写しをひそかに持ち出したのである。そして、リーム・セミコンダクタ社を新設。それは、この産業に頻発する産業スパイ事件の先駆的出来事であった。だが、彼らが盗んだメサ型の機密は間もなく陳腐化した。プレーナ技術が登場したからである。リーム社は倒産に追い込まれるのである。

シーゲル　プレーナ・プロセスは、すぐに社内の重要機密になりました。関係者にしか知らされず、社内でも不用意な会話は禁じられました。というのも、フェアチャイルド社にはベル研出身のグループ、ヒ

ユーズ・エアクラフトのグループ、創立者グループと幾つかのグループがあり、そのほかにも外部からさまざまな人たちが入ってきていました。そうした人たちのなかには、フェアチャイルド社から重要なノウハウを手に入れるのが目的で来ている人が、いるかもしれなかったからです。

——実例があるのですか。

シーゲル　ずいぶん昔の話ですし、今ではもうそれほど構わないことなんですけれど、疑惑に満ちたスピンアウトが幾つかあったのです。

——どんな？

シーゲル　私たちはメサで非常に成功したんですが、外部からフェアチャイルド社にやって来たあるグループが退社して、同じ技術で同じ事業を始めたのです。調べてみると、明らかにメサ型のノウハウを持ち出したと推定できました。ただ、彼らが知らなかったことがありました。それがプレーナ・プロセスでした。

——なるほど。

シーゲル　私たちは彼らが退社したあと、プレーナ・プロセスを発表したのです。しかも、彼らにはメサの一〇秒叩きのノウハウも隠し続けました。そのため、彼らは独立しながら、すぐに窮地に追い込まれ、会社をレイセオン社に売却しました。このように大切なノウハウを持ってスピンアウトされると、たちまち強力なライバルが出現するわけで、それを私たちは常に恐れていたのです。

プレーナ法の発明は、フェアチャイルド・セミコンダクタ社に想像を絶する利潤をもたらした。シ

リコン・メサで先頭を切り、他者が追随し始めてようやく製品ができるようになった頃、今度はメサ型を駆逐する新技術を生み出し、市場を独占したのである。名もなき小さな新興企業は、たちまち半導体技術のリーダーにのし上がった。

シーゲル　私たちは、フェアチャイルド社をテクノロジーを売りものにする会社にしたいと思っていましたが、同時に商業的にも成功したいと思っていました。それでも、一年の売上が一〇〇〇万ドルいければ、上々と思っていました。まさか設立後数年で、一億ドルを超える商売ができるとは、だれも夢にも思っていなかったのです。実際、私が退社する一九六八年には、約一億五〇〇〇万ドルの売上を上げていました。まぎれもなく、世界的な規模の大企業になっていました。確かな技術と創造力に富む巨人、という評価が定着していたのです。

グリニッチ　半導体業界のなかには、フェアチャイルド社の将来について否定的な見方をする人が少なくありませんでした。こんなことを言う人たちがいたのを覚えています。「君たちは一年や二年はもつかもしれない。しかし、そのうちにRCAが君たちを追い抜いてしまうだろうし、GEがのさばるようになったら、君たちなんかおしまいさ」と。ですから、私たちはけっして気を緩めることはありませんでした。私たちはそういった悪口を聞くたびに、それは「何事も一歩先んじていなくてはならないという教訓なのだ」と肝に銘じて頑張ったのです。

ベイ　一番成功しなかったのは、真空管ビジネスで大手だった会社で、この半導体の業界へ参入してきた会社でした。こういう場合にしばしば起こるケースと同じように、新しい技術が

導入されて、それが古いものを駆逐していくように思われる場合には、古い技術に関連している人たちは新しいものを認めたくないし、新しいことができると思いたくないんですね。そして、旧来のやり方に未練を持っているうちに遅れをとり、まったくそのビジネスのコースメンバーではいられなくなってしまうんです。GEですとかレイセオン、RCA、シルバニア、CBS、いま挙げたような会社というのは、すべて真空管の主要メーカーでした。このうち、最後まで半導体の会社として成功した会社は一つもありません。ことごとく、やってみて失敗しました。とはいえ、やってみることさえしなかった会社ほど、ひどい結果にはなりませんでしたけれども。

クライナー　半導体産業の初期にだれも考えたことは、真空管をつくっていた会社が理論的には半導体の世界も支配するだろうということでした。真空管の原理や技術は、そのまま半導体にも使えると考えられたのです。事実、この二つは技術的に大変共通点があります。しかしながら、真空管の会社で半導体で成功した会社というのは、一つもないんです。たとえばTI社もフェアチャイルド社も、真空管とはまったく関係のない会社でした。この理由はよくわからないんですが、ときとして白紙の状態で始めることが非常に大切なのではないかと思うのです。既存の技術を変更し改良することだけでは、革命的な技術は生まれないのではないかと思うのです。既成概念にとらわれることなく、真っ白な紙の上にデザインする勇気と能力。これこそが、半導体産業を築き上げる鍵だったのです。もし、私たちが真空管のような古いテクノロジーにとらわれていたら、絶対に成功しなかったのではないかと思います。これが私たちが成功し、従来型の企業が消えていった最大の理由だと思

います。

回路の天才は桁はずれの奇人

プレーナトランジスタは一九五九年に試作に成功し、六二年に特許が成立して全世界の市場を席巻するが、ほとんど平行してプレーナ技術を応用した実用的集積回路の開発に成功する。一九六一年のことである。集積回路の誕生については別項で詳述するが、ここではフェアチャイルド社の急成長を支えた第二世代の人材に目を向けてみよう。

一九六〇年に入ると、フェアチャイルド社が先端技術の牙城になった。急成長を遂げる新興会社に多くの人材が憧れて集まってきた。

チャーリー・スポーク、ドン・ヴァレンタイン、ジェリー・サンダース、マーシャル・コックス、バーニー・マレン、ロジャー・ボロヴォイ、フロイド・クヴァム、ボブ・フロイント、ティム・バリー、ジョン・ヒューム、そしてボブ・ワイドラーなど、いずれもフェアチャイルド社を振り出しに、アメリカ半導体産業に深くかかわった人たちである。

彼らの仕事ぶりもまた、八人衆に劣らず常軌を逸していた。労働時間などおかまいなく仕事に没頭し、ものに憑かれたように熱中した。だれもが超人的な忍耐とエネルギーのかたまりに見えた。仕事が終わると、全員が近くのレストラン・バー「ワゴン・ホイール」（地図番号⑫）に繰り込み、夜通し飲みながら仕事の話を続けた。だれもが一日の半分は酔っぱらっていた。目茶苦茶に働き、目茶苦茶に飲んだ。これをうまくやれなかった者は脱落した。規則無用の荒々しくもデタラメな会社であった。

仕事のあとのたまり場だったレストラン・バー、ワゴン・ホイール

なかでもジェリー・サンダースの奇行ぶりは群を抜いていたという。ハリウッドのスターさながらに丘の上に邸宅を構え、長髪をなびかせてピンクのズボンをはき、黒いキャディラックを乗り回した。この格好で律儀な会社ＩＢＭに乗り込んでひんしゅくを買うが、彼はまったく意に介さなかった。

リニア製品部長は、バンドレーラ(銃の負い革)とソンブレロとマチェーテ(山刀)をつけ、さながらメキシコの山賊姿で役員会議室に出席した。それでも、だれ一人それをとがめるものはいなかった。仕事さえできれば、服装などどうでもよかったのである。

アナログ回路を集積回路（ＩＣ）のチップにしたものをリニアＩＣと呼ぶが、ボブ・ワイドラーは「リニアＩＣの天才」であった。アナログ回路はディジタル回路と違って、個人のひらめきがもの言う世界であった。彼の手にかかると、絶妙なリニアＩＣができたのである。しか

ワイドラー氏

し、驚くべき変人で、大酒飲みで酒が強く、自分の部屋にはいつも大きな斧を置いていた。うまくいかないことがあったり、気に入らないことがあると、彼は斧を持って外へ飛び出し、手当り次第に木を切り倒すのが癖だったという。現在、インテル社会長ゴードン・ムーアは、次のように回想する。

ムーア　フェアチャイルド社がいろいろな種類の集積回路を開発していくにつれて、私たちは純ディジタル回路と平行してリニア回路にも力を入れました。一般電気製品に集積回路が使われるようになり、大きな需要があったからです。

——その名人がボブ・ワイドラーだったわけですね。

ムーア　彼は天才でした。フェアチャイルド社のリニア回路としては第二世代に入ってから入社したんですが、非常にクリエイティブな回路設計者でした。性格的にはとてもおもしろいものを持っていましたが、非常に独創的な人間というのはしばしば組織にはよく溶け込めないものなんですけれども、フェアチャイルド社はそれでも彼を受け入れました。それほど彼の存在は、会社にとって重要だったんです。

ボブ・ワイドラーは、フェアチャイルド社を辞めたあとはナショナル・セミコンダクタ社に転じ、結局そこも辞めて気ままな暮らしを送るようになり、知人たちの前から姿を消したという。リサーチャーの野口修司さんに八方手をつくして探してもらうことにした。彼はワイドラーの知人に、「一度ぜひ会いたい」と伝言してもらった。間もなく野口修司さん宅に、オレゴンの田舎から突然電話がかか

ってきた。ボブ・ワイドラーからであった。「おれはマスコミが好きではない。みんながおれを変人扱いしているのは知ってるんだ。なにッ、おれが天才だっていうのかい、じゃあ、天才とは何か定義してみな」「今何を考えているかって。そんなことあんたに関係のないことだろう」「おれも年を取ったね、二日前に五二歳さ。でも、先のことなんか考えちゃいないねえ」「インタビューを受けるか受けないか、そのときの気分次第だからなあ。まあ、オレゴンの住所は教えるから、手紙でも書いてくれれば、気が向けば返事を書くさ」。やっぱり返事は来なかった。

自由奔放に働き、遊ぶ理想の会社

製造部門の責任者はチャーリー・スポークだったが、彼は年中大声を張り上げ、何かあるとテーブルを叩いてどなりちらした。だれもが議論になると、けんかごしであった。黒板を叩き、黒板消しを投げつけることなど、珍しくもなかったのである。

コックス　セールス部門の人たちは、土曜も日曜もありませんでした。日曜日に開く緊急ミーティングはざらでした。トレーニングミーティングなど、いろいろなミーティングを日曜日に行うことが非常に多かったのです。工場も週七日間、二十四時間体制のフル操業でしたし、研究開発部門はもともと年中無休でした。

――どんな毎日だったのですか。

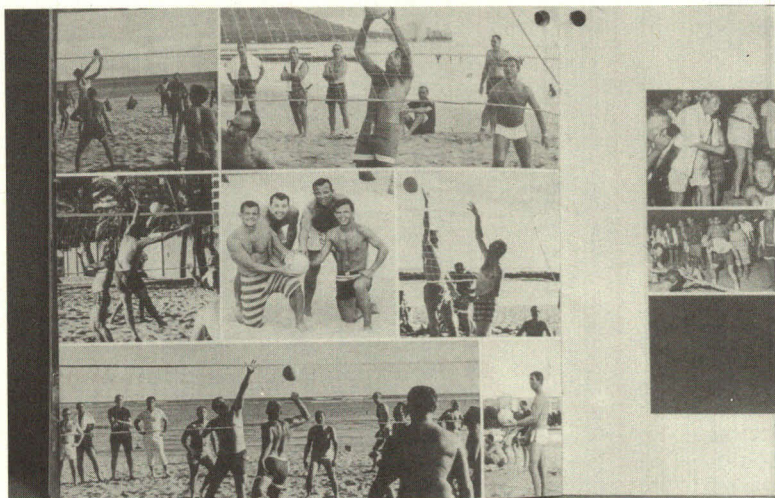
コックス　一言で言えば非常にスリルに満ちたクレイジーな日々、毎日があっという間に過ぎていった日々。私たちは非常にすばらしい人材に接していました。みんなその後、フェアチ

ャイルド社の内外で出世していきました。まるで海軍で同じ釜の飯を食うような日々を送ったのです。一緒に飲み、一緒に楽しみ、一緒に仕事をこなしました。月並みですけれど、私たちはよく働き、よく学び、よく遊びました。仕事のあとはすごい量のお酒を飲んだもので、意気が上がると、まるで戦艦でも派遣しかねないような勢いでした。みんながみんな、勢いのある時代でした。

ベイ　一つ確実に言えるのは、みんな若かったということです。一九六〇年のあの頃、私は三五歳、グループのなかでもむしろ年かさのほうでした。ノイスが確か三二か三。会社も若かったけれど、社員も若かった。第一線で働いているセールスマンなど、ほとんど家にも会社にも戻ってくることなく、顧客を求めて飛び歩いていたのです。彼らがときどき会社に顔を出すと、オフィスには常にノイスが待っていて労をねぎらい、話に耳を傾けました。われわれすべてが、一つの家族のようになって働きました。みんなが前を向いて走りました。横を向く暇などなく、人の足を引っ張るような余裕すらありませんでした。

――なるほど。

ベイ　上司風を吹かすような者もいませんでした。それぞれ自分の問題は自分で解決すればいい、という感じでした。しかし、困ったり悩んだりしたときは一声かければ、すぐにみんなが集まって来て、知恵を出し合いました。アセンブルラインの一番下のレベルの人まで集まって来ては、互いに助け合ったのです。

シーゲル　当時のフェアチャイルド社は、収益の一五～二〇パーセントを毎年研究開発にあてていました。技術者にとっては、大変すばらしい場所でした。常に時代の先取りを心がけて、

若者たちの自由奔放さを誌面に反映したアニュアル・リポート

新しい商品の開発が幾つも行われていました。

――なるほど。

シーゲル　ほかの人のアイディアが自分のアイディアを誘発し、自分のアイディアがさらに他人のアイディアを誘発する。それは、まるで拡散現象に似ていました。拡散現象を説明するとき、私たちはコップの水にインクを一滴落とすようなものだと表現しますが、それに似たアイディアの拡散現象のように見えました。

グリニッチ　ほとんどの人は、週末も一日は働いていました。マーケティングと技術開発は、本当に緊密な連携プレイが必要でした。顧客の要望は即刻開発部門に伝わり、新しい製品や新しい製造手段がものすごいスピードで実現していきました。

――臨機応変、即断即決ですね。

グリニッチ　そうです。手続きや窓口を通すために時間が浪費されることは、最小限に抑えられていました。だれかがいいことを思いついたら、即刻やってみようという空気に満ちていました。ですから、物事が非常に速く動いたのです。大企業では、すべての事柄が上に上げられ、トップの決裁を得てから実施に移されるのが常識ですが、フェアチャイルド社では何でも自分でどんどん実行するというのが普通でした。それが一番手っ取り早い方法でした。大企業がやるように、まずは何をおいても市場調査に大量の時間を費やすなどということを、私たちはしませんでした。とにかくよい製品をつくって売る。このほうが何人も人を雇って市場調査をしてもらうよりも、ずっと簡単で確実でした。

――なるほど。

グリニッチ　無我夢中でやっているうちに、しばらくしてみると、フェアチャイルド社は大差をつけて先頭に立っていたのです。

ハーニー　当時のフェアチャイルド社には、全然制約がなかったんです。開発については経営者たちは現場に完全な自由裁量の権限を与えてくれました。彼らは、毎日私たちが何をやっているかなど、まったくチェックしようとしませんでした。自由な発想と自由な活動が充分保証された、研究者にとっては理想的な会社でした。だれかがいいことを思いつくと、関係ある技術者たち、フォトレジスト、酸化膜、拡散などの専門家がすぐに集まって、思いつきの実現に走り出すといった機動性もありました。ですから、何事にも煩わされることなく、最初から最後までトランジスタづくりに熱中することができました。今日では、

こんなことはまったく不可能なことだと思います。エンジニアにとっての楽園、それが当時のフェアチャイルド社でした。

彼らの中心には、常にロバート・ノイスがいた。自ら新技術を生み出したばかりでなく、他人に創造力を発揮させる能力にたけていた。鋭い洞察力と優れた統率力が新興企業の方向を決定し、活力をみなぎらせていったのである。

グリニッチ　ボブはまれに見る人材でした。技術的、科学的に優秀だっただけではありません。フェアチャイルドという企業イメージを、具体的に体現してくれるすばらしい人物でもありました。講演も非常に上手で、聴衆一人一人に語りかけ、自信にあふれ、礼儀正しく、しかも、けっして自慢風を吹かすようなことはしませんでした。目立たぬところで、自分のやることはきちんとやり遂げていました。

しかし、彼にしても自分が生み育てたフェアチャイルド社を一九六八年に去り、新会社インテルをつくるのであった。肥大化しすぎたフェアチャイルド社は、やがて既存の企業と同じ道をたどり始める。利潤追求に狂奔し、創造を忘れ、またたく間に技術が停滞し、製品の質が急落する。こうしてロバート・ノイスは、自分たちが育てたフェアチャイルド社を見放して去るのだが、それは下巻で触れることにする。

シリコンバレー形成の原点

すでに見てきたように、フェアチャイルド・セミコンダクタ社は、創業早々から業績が飛躍的に伸

びた。そこで一九六〇年、ロバート・ノイスたちは出資会社のフェアチャイルド・カメラ&インスツルメント社から株式を買い戻して、独立しようと奔走する。しかし、これは成功しなかった。金のなる木を親会社が手放すはずがなかったのである。失望した設立メンバーのうちの何人かが、それぞれ持ち株を手放してフェアチャイルド社を去った。それぞれが手放した株の額面は、二五万ドルであったという。

ここで触れておかなければならないことは、フェアチャルド・セミコンダクタ社が果たした役割についてである。すでに二二二ページで見ていただいた表でもわかる通り、フェアチャイルド社で働いたことのある人材が飛び出して会社をつくり、そこで育った人材がまた別の会社を設立するといった具合に、半導体関連企業群が増殖していったのである。その大元締めが、フェアチャイルド社であった。

フェアチャイルド社で働く人たちのほとんどが、技術やビジネスを身につければすぐに独立したのである。フェアチャイルド八人衆と言われた若者たちも次々と独立し、最後まで残ったのはロバート・ノイスとゴードン・ムーアだけになった。その二人も、結局フェアチャイルド社を去って、インテルを設立するのである。

シーゲル　会社の外にトランジスタ産業を支える基盤は何もありませんでした。拡散炉からボンディング装置まで、出来合いを売っているところはどこにもなく、したがって、すべてを自作したのです。ですから、新しい半導体技術の細部にわたる技術までが、フェアチャイルド社には充満していました。

——新技術の集積会社だったわけですね。

シーゲル　そうです。ですから、いろいろな装置や道具や材料を内製してるうちに、その担当者は熟練し、専門分野のエキスパートになりました。やがて社員のうちの一人が会社を去って、新しい会社を始めるのです。すさまじい勢いで何が起きたかといいますと、会社の中で精力的な人たちがフェアチャイルド社を次々と辞め、新しい会社をつくり始めたのです。

——なるほど。

シーゲル　フェアチャイルド社を出て半導体メーカーをつくった人たちもいますが、それ以外にも水処理専門の会社をつくった人もいました。あるいはワックスを製造する会社をつくった人もいました。ボンディング機械、アセンブリ機械、ヘッダー製造業者、パッケージ専門会社、あらゆる分野の量産機械、こうした専門会社が輩出したのです。彼らはみんな、私たちの祝福を受けて会社を去りました。

——シリコンバレー成り立ちの構図ですね。

シーゲル　まったくその通りです。フェアチャイルド社で新技術を考案し、創造的なアイディアを実現し、それを財産にスピンアウトしていったのです。こうして、シリコンバレーができていきました。それは、成功の拡散ともいえる現象でした。

——なるほど、成功の拡散ですか。

シーゲル　そうです、成功の拡散です。

最初に退社したのがジーン・ハーニー、シェルドン・ロバーツ、ユージン・クライナーの三人だった。彼らはアメルコ社を新設。そのアメルコもやがてテレダイン・セミコンダクタ社に買収された。ジーン・ハーニーは、その後も一ダースにのぼる会社を設立するのである。

ハーニー　私がフェアチャイルドを去ったのは、もっと何かほかのことをやりたかったんです。独自な製品を開発して、自分のビジネスをやりたかった。技術的な側面ばかりでなく、経済的な面でも成功したいと思ったのです。そんなわけで、フェアチャイルドが軌道に乗ってから四年後、一九六一年の末、私は自分で事業を興すためフェアチャイルドを辞めました。このとき、八人の仲間たちのうち三人が私と行動をともにし、アメルコ社を設立しました。

プレーナ特許の権利は発明者ジーン・ハーニーにはなく、フェアチャイルド社が所有していた。莫大な特許収入はフェアチャイルド社に入り、ハーニーには入らなかった。彼は再び新しい技術を発明し、今度はその利益を享受したいと考えたに違いない。そして、彼の才能を見込んで、仲間が行動をともにした。

だが、彼はその後の人生で、プレーナ技術以上の発明をすることはなかった。それはちょうど、ショックレー博士が接合トランジスタ以上の発明を、その後の人生の中で生み出すことができなかったのと似ていた。しかも皮肉なことには、彼が考案したプレーナ技術を応用して、集積回路という革命的な技術を生み出したのは、同志で上司でもあったロバート・ノイスであった。

新設したアメルコ社はやがて行き詰まり、仲間たちは離散した。しかし、彼はその後も多くの会社を設立し、半導体ビジネスの道を歩んだ。一九六七年には、インターシルという時計用のＩＣ製造会社として有名になったが、ＧＥに売却。現在も二つの会社の設立に奔走している。

「みんな会社に恋をしていた」

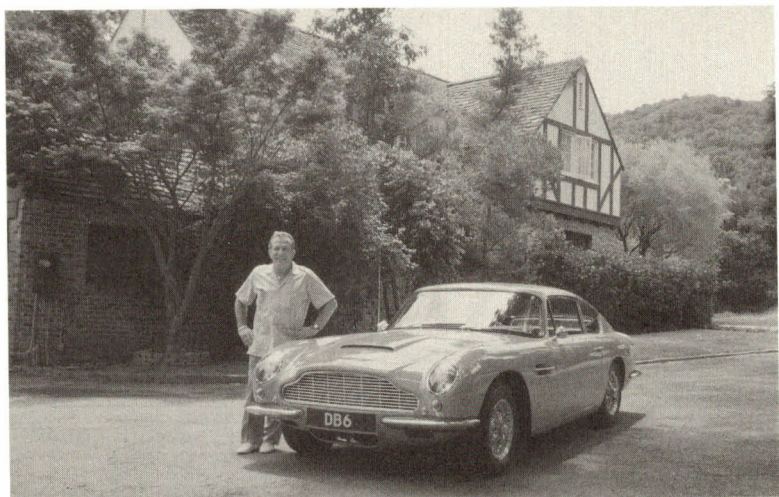
シェルドン・ロバーツはベンチャーキャピタリストの道を歩み、残るジュリアス・ブランク、ビクター・グリニッチ、ジェイ・ラストなども続いて退社し、シグネティックス社を新たに設立するのである。

グリニッチ　フェアチャイルド社の出現は、ベンチャーキャピタルの可能性を切り開くうえで大きな貢献をしました。大成功した会社としては、ベンチャー企業のなかで初めてのケースの一つでした。東海岸にも西海岸にも似たような会社はありましたが、フェアチャイルド社ほどの規模を持ったものはありませんでしたし、フェアチャイルド社のようには多くの人材も会社も生み出すことはありませんでした。フェアチャイルド社が輩出した卒業生の数は圧倒的でした。

——まるで、フェアチャイルド大学ですね。

グリニッチ　そうです。その意味では、腕一本知恵一つで新しい道を切り開くことができるのだという、無数の実例を世に示し、多くの人々に勇気を与えたと思います。

——多くの卒業生を出したということは……。

グリニッチ　スピンオフが激しかったということです。スピンオフはしょっちゅうでした。これがフェアチャイルド社の運営にとっては、大きな問題の一つでした。だんだん深く付き合うようになった人たちが突然会社を離れ、競争相手になってしまうというのですから、ス

アストン・マーチンとコックス氏

ピンオフは常に危機的な問題をはらんでいました。

——しかし、大局的な見地に立てば、それがアメリカの半導体産業を増殖させていったわけですね。

グリニッチ　これは大変重要な点です。フェアチャイルド出身の人の数を挙げるだけでも、すごい人数になります。一時はアメリカの半導体業界の社長の四分の三が、フェアチャイルド出身の人で占められたほどです。フェアチャイルド出身の人がそこら中にあふれていたのです。

——あなたの人生にとっては、どんな意味を持っていますか。

グリニッチ　振り返ってみると、青春時代の記憶と重なっています。多くのことをすることができました。おもしろい時代でした。やりがいのある時

代でした。あんなことはもう二度とないと思います。

——あなたの人生にですか、アメリカの将来にですか。

グリニッチ　少なくとも私の人生には。

シーゲル　私たちは新しい会社を設立し、それぞれの道を歩みましたが、独立してみて初めて、フェアチャイルド社で働いたことが、どれほど大きな意味を持っていたのかを悟りました。何かの会合や商談で人に会うたびに、自分はフェアチャイルド社出身だと言うだけで、それは尊敬と羨望のまなざしで見つめられたものです。フェアチャイルド出身という一言は、非常に重みのある言葉だったのです。

——あなたにとってフェアチャイルド社は。

シーゲル　フェアチャイルド社を去ったすべての人たちを代表して言いますと、本当に私たちはフェアチャイルド社に恋をしていたのです。

コックス　一九八七年でしたが、フェアチャイルド社の出身者が一堂に会したことがありました。それはまるで、学校の同窓会でした。ナショナル・セミコンガクタのチャーリー・スポーク氏もやって来まして、フェアチャイルドの思い出をいろいろと語り明かしました。何千人という人々が顔を出し、非常に楽しいイベントでした。しかし、それはもう一面で、フェアチャイルド社のお葬式のようなイベントでもありました。フェアチャイルドのロゴ入りの小さな墓標まで用意してあって、そこには「穏やかに眠るフェアチャイルド。一九五七〜八七」と書かれていました。

これも余談になるが、アメリカの半導体関係者の多くが、インタビューの場所として自宅を指定し

た。ベル研究所の出身者はかつての職場を望んだが、それは例外であった。一方、日本の関係者は自宅を嫌って、会社を指定した。退職して久しい方々も、インタビューは会社にしたいと希望した。どの場合も、おそらく彼らが最も誇りとする場所であろうと私たちは推察した。特にマーシャル・コックスさんの場合は、豪華な邸宅こそが偉大な成功の証だったのかもしれない。

ずぶの素人から出発して、フェアチャイルド社で半導体ビジネスを身につけた彼は、独立して販売会社をつくった。日本の半導体がアメリカに進出し、その品質のよさが評価されるようになると、彼は積極的に日本製のＩＣを売り込み、莫大な利益を手中にした。現在はウエスタン・マイクロ・テクノロジー社の会長である。

サンタクルツ山系の麓から、サントーマス川沿いに車を走らせていくと、渓谷の両側に超高級住宅地が連なっている。なかでもひときわ目立つ豪邸が、マーシャル・コックスさんの家であった。斜面に密生する原生林を部分的に切り開き、一見、山小屋風の建築物を建ててある。うっそうとした木立の中に二五メートルプールが真っ青な水を満々とたたえ、その周りを色とりどりの花壇が取り巻いている。色鮮やかなビーチパラソルの下で、プールをバックにしてのインタビューであった。

大きなガレージには、五台のクラシックなビンテージカーが収まっていた。映画の００７でジェームズ・ボンドが乗ったアストン・マーチン、エリザベス・テーラーが長く使ったというロールス・ロイスなど、金に糸目をつけずに買い集めた逸品であった。インタビューが終わると、「諸君もジェームズ・ボンドの気分になりたくないかね」とアストン・マーチンを車庫から引き出して乗せてくれた。しびれるような排気音が車体を心地よく振るわせた。猛烈なスピードで高速道路を飛ばすコックスさんの無邪気な顔には、誇らしさがにじんでいた。

第6章 宇宙開発競争と集積回路

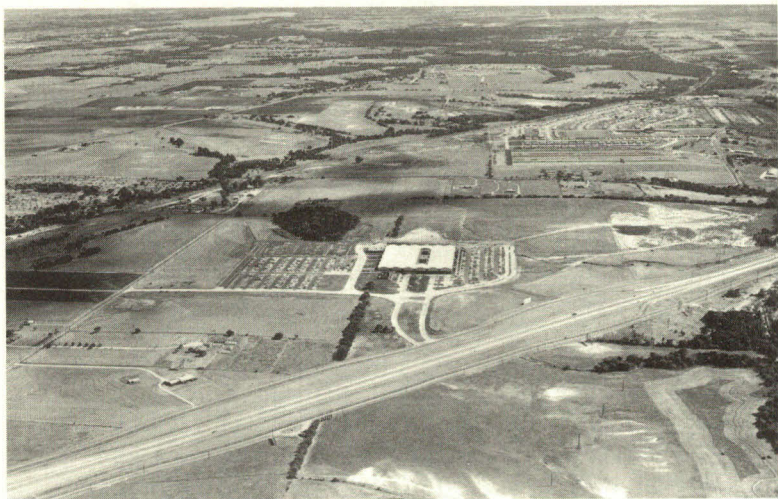
▩「すべての部品を一個にしてみよう」

世界で最初に集積回路の試作に成功したのは、テキサス・インスツルメンツ（TI）社のジャック・キルビーであった。それは実用にはほど遠かったが、フェアチャイルド社のロバート・ノイスがつくる実用的な集積回路よりは一年早かった。TI社のウィリス・アドコックさんは現在テキサス大学教授であるが、当時は上司としてジャック・キルビーをスカウトしてきたばかりであった。

アドコック教授の経歴についてはすでに何度か触れたが、戦前ブラウン大学で物理化学を学んでいるときに開戦。戦争中はテネシー州のオークリッジで、ガイガーカウンターの開発と水中爆薬の研究。戦後大学に戻って学位を取得し、インディアナ州の石油会社シロル社に就職し、一九四八年から五三年まで在籍した。その後、TI社の研究所の初代所長ゴードン・ティールにスカウトされてTI社に転じ、やがてゴードン・ティールのあとを継いで研究所長に就任。彼がジャック・キルビーをスカウトしてくるのは、一九五八年のことであった。

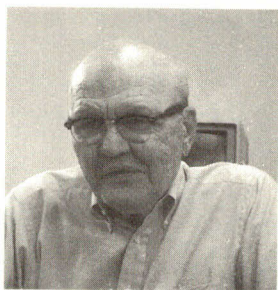
アドコック　私はその頃、装置を構成する各部品の小型化を研究する人材を探していました。すでに、トランジスタというのはトータルなシステムの中のごく一部であり、トランジスタだけが小さくなっても、装置全体は小型にならないと考えるようになっていました。抵抗器もコンデンサーも、トランジスタ並みに小型化できないかと考えたわけです。

――それで、ジャック・キルビーをスカウトしたんですね。

アドコック　そうです。その頃、ジャック・キルビーは前の会社でセラミックの上に回路を載せ

原野の真ん中にあった当時のＴＩ社半導体工場。ここにキルビーの研究室があった

る研究をやっていました。彼の主な興味の中心は補聴器でした。小さなセラミックに抵抗器やコンデンサーをつくり込み、それにトランジスタをハンダづけしたのです。彼はそこで、個々のトランジスタをセラミックボードにどのように装着したらよいかで苦労しました。だから、彼はサーキットに関するいろいろな問題点についてはとてもよくわかっていましたので、来てもらうことにしたのです。

――なるほど。

アドコック　ところが、ＴＩ社で電子部品の小型化に携わったキルビーは、各部品を小型化するだけでは限界があると気づきました。その代わりにすべての部品を、シリコンかゲルマニウムでつくって一個にまとめてしま

うことができないだろうかと考えたのです。まさに、これは革命とも言える発想でした。これが、集積回路ＩＣの始まりでした。当初は集積回路といった名前ではなく、私たちはソリッドサーキット（固体電子回路）と呼んでいました。

――ジャック・キルビーは、適任だったんですね。

アドコック　まったく、その通りでした。私たちが彼に提供できたのは、いかにしてトランジスタをつくるかということだけでした。フォトレジストの技術や、酸化膜の技術、拡散の技術などシリコン時代の新しい技術を私たちが提供し、彼はそれらを巧みに集積回路へと統合していったのです。

キルビー氏

ジャック・キルビーは背丈が二メートルはあろうかと思われる巨人である。一メートル七四センチの私が彼と握手したら、私の頭の位置が彼の首の下であった。体の割には声が小さく、けっして話好きではない。しかし人柄は穏やかで、聞けばこちらが納得するまで親切に教えてくれた。

電気技師の父に影響されたキルビー少年は、小さいときから電気技術に熱中した。高校時代にはアマチュア無線の免許を取得。イリノイ大学で電気工学を専攻し、一九四七年に卒業後、ミルウォーキーのセントラル・ラボに就職した。電子回路の設計が彼の仕事であったが、製造にもかかわった。

彼の会社では当時、真空管につなぐ抵抗やコンデンサーは、セラミックの基板上にシルクスクリーンで印刷した。電子回路を構成する抵抗やコンデンサーを、セラミック板の上に転写したのである。銀の薄膜を転写すればコンデンサーになり、カーボンインクを転写すれば抵抗になった。このセラミ

ックサーキットに真空管を差し込めば、基板がラジオやテレビセットとして動作した。やがて真空管がトランジスタに置き換えられ、装置は小型になった。

キルビー 一九五八年までに人々の多くが、電子部品の組み立てをもっと工夫しなければいけないと思うようになりました。コンピューターやスイッチボードなど回路が非常に複雑になるにつれ、従来のような組み立て方では、もう限界だと感じていたのです。このまま進むと、電子機器はコストが膨大になり、信頼性に欠け、大きくて扱いにくいものになるだろうと人々は考えました。

——時代的な必然性があったんですね。

キルビー 多くの企業が開発プロジェクトをつくり、独自のプログラムに着手しました。マイクロモジュール、モレキュラー・エレクトロニクスなどです。そんなわけで、私がＴＩに入社したときに選んだテーマも、装置のマイクロ化でした。

一九六〇年代に入る前後から、電子装置の組み立てに要する労力と時間が問題になりだした。特にコンピューターに使うスイッチング素子（主にトランジスタ）が、天文学的な数になり始めた。たとえば、一九六〇年に登場したコントロール・データ社のコンピューターには約一〇万個のダイオードと二万五〇〇〇個のトランジスタが使われていたが、それらを結線する作業には膨大な労力と時間が必要であった。激増していく配線数をいかにして少なくするか、集積回路技術を必要とする産業的な背景がそこにあった。

では、キルビーさんはトランジスタから抵抗、コンデンサーまで、すべての部品を一枚の半導体基板に一緒につくり込んでしまおうという着想を、いつ、どのような過程を経て思いついたのだろうか。

キルビー　当時、すでにコンデンサーも、ゲルマニウムやシリコンなど半導体素材でつくれることがわかっていました。必要な部品は、どんなものでも、半導体素材でつくることが可能でした。もちろんトランジスタでも、ダイオードでも、抵抗でも、コンデンサーでも、どんな回路の要素でもつくれたんです。だから、これらを同じチップに搭載すればいいだけのことだと、私は考えたのです。

——なるほど。

キルビー　すべての部品を一つの材料からつくることができるなら、それらをみんな一つの材料の中に入れてしまうほうが合理的なわけですね。そして、それを内部で接続すれば装置になるだろう。私がそういう結論に達したのは、一九五八年の七月、ＴＩ社に入社して間もなくのことでした。

——なるほど。

キルビー　実はよく考えてみると当たり前のことで、電子装置のマイクロ化に狙いを定めて考えれば、当然の帰結だったのです。

——そうですね。

キルビー　ところが当時は、その当たり前のことが、多くの人々にとってはバカげて見えたものです。というのも、半導体のトランジスタをつくれば、一個一〇ドルで売れるのに、同じ材料で抵抗をつくれば一個一セントにしかならないわけですから、部品集積という概念が念頭になければ、コストを無視した目茶苦茶な話だったのです。

——なるほど、なるほど。

キルビー　ミルウォーキー時代に、私がセントラル・ラボでやっていたことは、固体電子回路の初歩的な試みだったと言えないこともありません。装置は幾つかの機能回路の組み合わせであり、一つの機能回路は抵抗、コンデンサー、トランジスタといった部品の組み合わせで構成されていますね。

――はい。

キルビー　私が当時やっていた仕事は、部品の組み合わせをパターン化して一枚のセラミックにつくり込むことでしたから、部品を集積して機能回路にするという固体電子回路の発想に非常に近いものでした。セラミックの代わりに、ゲルマニウムやシリコンなどの半導体を使えばどうなるかと考えたのが、最初の思いつきでした。

――TI社で、そのアイディアをだれかに言ったのですか。

キルビー　私をTIに勧誘してくれたのはウィリス・アドコックでしたから、彼に言いました。すると、彼をはじめTIの人たちは私のアイディアに大変興味を持ち、支持してくれました。特にアドコックは、強力にバックアップしてくれました。

――それで?

キルビー　半導体に何かの機能回路を組み込んだものを、試作してみようと決心したのです。

――何を試作したんですか。

キルビー　発振器の回路を半導体につくり込もうと考えました。その理由は、回路がうまく作動しているかどうかを見分けるには、発振器が一番わかりやすいからです。もし作動していればオシロスコープに発振波形が現れるし、作動していなければただの直線しか現れませ

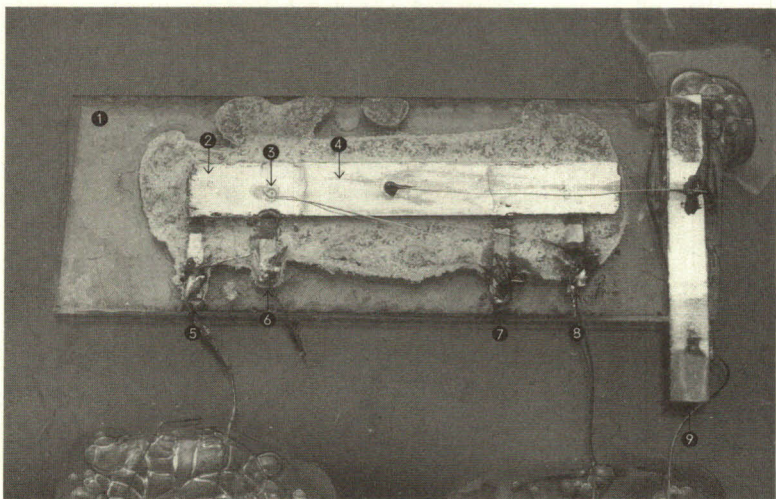
んので、作動・不作動の識別が簡単でした。

▨ 世界で初めて集積回路が作動

写真は、キルビーさんが最初に試作した集積回路である。実物はワシントンのスミソニアン博物館に展示されているが、全体が一円玉を方形にしたほどの大きさである。プラスチックの板に、長さ三センチ、幅四ミリほどのゲルマニウムの細長い結晶板が、エポキシ樹脂で接着してある。結晶の左側四分の一ほどのところに、メサトランジスタをつくり込んである。残り四分の三のゲルマニウム結晶を抵抗として使ったり、コンデンサーとして使っている。

当時TIでは、ゲルマニウムのウエハー一枚で二五個のメサトランジスタを量産していた。キルビーさんはそうしたウエハーの一枚を集積回路の試作に流用した。トランジスタが載っている部分を幅一・六ミリ、長さ九・五ミリに切断して、その中に回路をつくり込んだ。

高純度半導体に伝導物質(不純物)を添加するということは、電気の運び屋を入れてやることだから、添加量で伝導度が変わる。つまり、抵抗値が変わるのである。添加量が多ければ抵抗値が少なくなり、電気が伝わりやすくなる。現代の集積回路では、意図的に伝導物質を注入することで抵抗器をつくり込み、濃度や面積で抵抗値を制御するのである。注入の方法は、イオン注入法やガス拡散法などを工程によって使いわける。

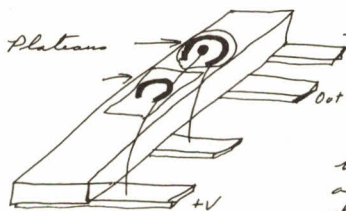
だから、N型にしろ、P型にしろ、伝導物質を添加してある半導体は、それ自体が抵抗器として働く。長さが長ければ抵抗値が大きく、短ければ抵抗値は低い。キルビーが試作した最初のICは、結

キルビーが最初に試作した集積回路。①プラスチック板、②長さ9.5㎜、幅1.6㎜のゲルマニウム結晶、③ゲルマニウム・メサトランジスタ、④コンデンサーとして働く平面、⑤〜⑨端子

晶自体が持つ抵抗を長さで使いわけている。⑤から⑧までの端子が結晶の裏側に接触しているが、各端子間の距離で抵抗値の大きさが決まる。端子⑤と⑥の間が一個の抵抗器であり、同じように⑥と⑦の間が一個、⑦と⑧が一個。こうして一枚のゲルマニウム結晶が、全部で三個の抵抗器の役割を果たしている。

コンデンサーというのは、電気を一時的にためる働きを持った部品であるが、その構造は二枚の金属が向かい合っただけで、金属の間にはさまった空間に電気がたまり、その容量は金属の面積と空間の厚みで決まる。キルビーICの場合は、結晶中央部に一定面積の金属膜を蒸着させてコンデンサーに使っている。こうして一枚のゲルマニウム結晶に、一個のトランジスタ③と三個の抵抗器と一個のコンデンサー④をつくり込んだ。

問題は、それらの部品を互いに線でつながなければ装置にならない。後に登場するロバート・

20
EO NO. 043601
DATE Sept 12, 1958

A wafer of germanium has been prepared as shown to form a phase shift oscillator.

The bulk resistance of the germanium was used for resistor, and a p-n junction for a capacitor. The p type Ge wafer was diffused by conventional techniques, and an aluminum emitter dot was evaporated & alloyed. Gold was evaporated and alloyed to provide connections to the transistor base and to the capacitor area. Plateaus were formed by etching for the transistor and capacitor. Tabs were attached to make contact with the Germanium

キルビーが集積回路を思いついたときのノート。日付は1958年９月12日

ノイスのＩＣは、配線も結晶の中につくりつけてしまうのだが、キルビーＩＣの場合は、配線は外側の端子を金線でつなぎ合わせて配線してある。部品間を接続する金線が橋をかけるように空中に交差していたので、「空中配線」とか「アクロバット配線」と呼ぶ人がいた。また部品間の絶縁は互いに距離を離すことで保っていたので、原始的な「空気隔離」だと言われた。

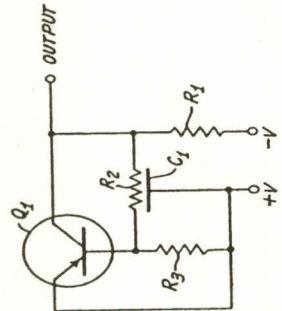
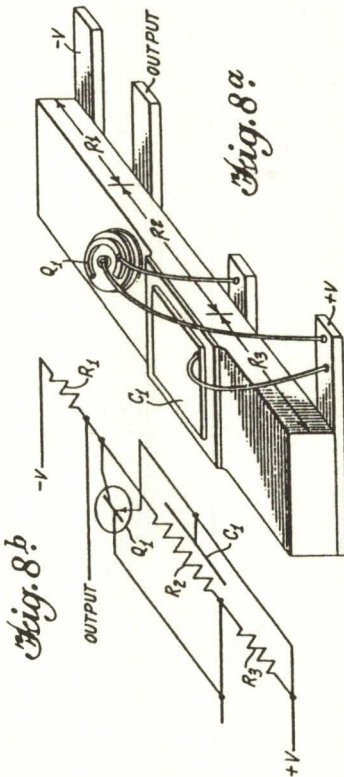
写真上はキルビーさんが集積回路を思いついたときのノートであり、図12はその特許の一部である。一個のトランジスタ、三個の抵抗器、一個のコンデンサー、これらがゲルマニウムの小さな結晶板につくり込まれ、それぞれの端末を金線でつなげば、発振器として動作した。

六枚の書類には上記の構造のほかに、もっと複雑な構造の集積回路が記載されていた。トランジスタが二個と八個の抵抗器に、二個のコンデンサーが一枚のゲルマニウム結晶につくり込まれ論理回路を形づくっていた。認可年月日、

図12　集積回路の特許図面

June 23, 1964　　J. S. KILBY　　3,138,743

MINIATURIZED ELECTRONIC CIRCUITS

Filed Feb. 6, 1959　　4 Sheets-Sheet 4

INVENTOR
Jack S. Kilby

BY Stevens, Davis, Miller & Mosher
ATTORNEYS

一九六四年六月二三日。申請年月日、一九五九年二月六日。最初の試作実験に成功したのは一九五八年九月、ジャック・キルビーがＴＩ社に入社した年であった。

アドコック　ジャック・キルビーは、私に最初のデモンストレーションをしてくれました。当時のＴＩ社は非常にこぢんまりした会社でしたから、一声かければどこにでも届きました。

——小さな会社だったんですね。

アドコック　ですから、ジャックがオフィスのすぐ向かいから、「ちょっと来てくれますか、お見せしたいものがあります」と声をかけてくれれば、こちらのオフィスに声が届くような有り様でした。それで、ジャックの部屋に見に行ったのです。

——なるほど。

アドコック　バラックづくりの小さな装置が、机の上に載っていました。端子に電池をつなぎ、オシロスコープをつなぎ、スイッチを入れました。するとグリーンのスクリーンに、サイン波形が現れました。思わず私は、「これはすごい」と声を上げました。ただそれだけのあっけないデモンストレーションでしたが、噂は狭い社内にあっという間に広がりました。何かおもしろいものができたらしい。やがて、社長のハガティや重役のシェパードなどのお偉方が真っ先に飛んで来ました。そのあと仲間が続きました。彼らはみんなエンジニアでしたから、一目見ればその意味が理解できました。

最初は上司のアドコックさんだけに見せるつもりの実験だったが、噂が社内を駆けめぐり、たちまち人々が集まって来た。社長など重役連を前にして、キルビーさんは再び集積回路を働かせてみせた。

キルビー　最初に実演をしたのは一九五八年九月一七日でした。実演は成功でした。もちろん、

うれしかったのは当然ですが、びっくりはしませんでした。うまくいくことは確信していましたから。

――出席者は？

キルビー　ウィリス・アドコック、チャールズ・フィリップス、マーク・シェパード、それに社長のパトリック・ハガティ、会長のエリック・ジョンソンと、主要なトップが全部揃っていました。

――彼らの反応はどうでした？

キルビー　彼らは非常に感動したようでした。異口同音に研究を前進させるべきだと支持してくれたのです。

同じ年の一〇月には、ほぼ同じ方法でコンピューターの基本回路とも言えるフリップ・フロップ回路をゲルマニウム結晶の中につくり込む計画に着手し、翌年の一月に成功している。今度はコンデンサーが「PN接合コンデンサー」に変わっていた。

PN接合のP層にマイナスをつなぎ、N層にプラスをつなぐと、マイナスの運び屋はプラス電極に引きつけられ、プラスの運び屋はマイナス電極に引きつけられて、結晶内部に電気の運び屋が不在になる。運び屋が両極に張りついた状態なので、結晶内部は空っぽというわけである。この状態の中心部を空乏層というのだそうだが、これは二枚の電極が向かい合った状態のコンデンサーそっくりである。つまり、空乏層の持つ静電容量が、コンデンサーとして働くわけである。だから、半導体結晶にPN接合をつくってやれば、電気のつなぎ方次第でコンデンサーにも使えるというわけである。

ミサイル用に大量の生産注文

この集積回路が製品化されたのは、三年後の一九六一年のことである。コンピューター用の論理回路として商品化したのである。三〇四ページ写真上がその解説パンフレット。写真中央に右手で指し示している豆粒大の素子が、集積回路である。その上に構造説明図。左手が持っているプリント基板は、同じ機能を既存のトランジスタや抵抗などでつくった装置。既存のトランジスタを使えば、この大きさになることを示している。逆に言えば、これと同じ機能を集積回路にすれば、豆粒大の素子になるという意味でもある。写真下はこれでつくった米空軍用のディジタル・コンピューター。写真右端にある黒い箱が、単体のトランジスタ八五〇〇個でつくった旧来のコンピューターである。これが集積回路を使うことで、写真左に写っているような手のひらサイズの新型装置になっている。TI社はこれを「ソリッドサーキット」と名づけた。注目すべきはこのICも、すぐあとで詳述するフェアチャイルド社製ICと同じように、配線は「アクロバット配線」から「真空蒸着による金属膜配線」を使い、トランジスタ間の絶縁も「空気隔離」から「接合隔離」に変わっていた。

キルビー　社内公開のあと、一九五八年一一月と一二月の二回、空軍に対して公開実演をしました。空軍に対する公開実演はおよそ一時間かかりました。そこで、私たちが何を可能にし、今後さらに何が可能になるかを簡単に述べました。

――空軍の人たちの反応はどうでしたか。

キルビー　彼らは非常に感激し、興奮していました。もしかしたら、私たちのつくった集積回路

が、彼らの悩みの種であったモレキュラー・エレクトロニクスの実例になるのではないかと考えたのです。だから、軍関係者たちの興奮は相当なものでした。

――彼らにとって、あなたのアイディアは救いの神だった。

キルビー　少なくとも私たちに賭ける価値はあると思ったんではないでしょうか。彼らはまた、これをミニットマン・ミサイルに使用することが可能だとも感じたようです。空軍は即座に、この技術を使ってミニットマンの誘導コンピューターをつくることを希望し、すぐに開発費が与えられました。

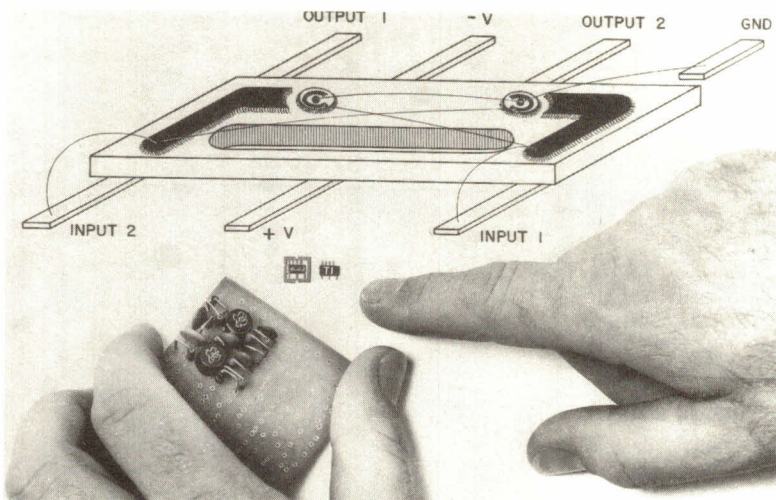
――資金援助はどのくらい。

キルビー　最初の契約をしたあと、一年間に一〇〇万ドルくらいの開発援助を何年も続けてくれました。

――そして?

キルビー　一九六一年から設計にとりかかり、一九六四年までに私たちはミニットマン・ミサイル用の誘導コンピューターを幾つか試作しました。これらを使ったミサイルがフライトテストに成功すると、大量の生産注文が来ました。そのことで私たちの信用は非常に高まり、集積回路技術が飛躍的に伸びていったのです。

――軍事以外の需要はいかがでしたか。

キルビー　集積回路をなかなか使ってくれませんでした。実際、五年もの間、集積回路をひたすら売り込んで歩きました。利点や使い方を説明して、使ってほしいと説得して歩いたのです。一九六七年から八年になって、ようやく大企業の何社かが私たちの考えを受け入れる

1961年に製品化されたキルビーＩＣの解説パンフレット

New microminiature digital computer built by Texas Instruments Incorporated for the U. S. Air Force. Photo at left shows module containing a dozen **SOLID CIRCUIT*** semiconductor networks being plugged into the tiny computer. At right it is seen alongside a computer containing 8500 components with conventional circuitry and performing identical functions.
*Trademark of Texas Instruments Incorporated

キルビーＩＣでつくった米空軍用ディジタル・コンピューター

ようになりました。だから、集積回路はすぐに受け入れられたのではなかったのです。

——それでは、空軍だけが頼りだったわけですね。

キルビー　最初は空軍、やがてディジタル・イクイップメント社のようなコンピューター会社が採用してくれました。しかし集積回路が完全に普及するには、約一〇年近い歳月が必要でした。

——ところで、キルビーさんが最初の成功を軍以外に一般公開したのはいつでしたか。

キルビー　一九五八年暮に軍に公開しましたが、その翌年の一九五九年三月に開かれたＩＥＥＥ（電気電子技術者協会）のショーで、公開実演をしたのが初めてでした。だから、その時点で私の発明は、だれとまでは言えませんが、多くの人々の知るところとなりました。フェアチャイルド社が集積回路の研究に着手したのは一九五九年一月だったと、ボブ・ノイスが研究ノートに記載していますから、彼らが集積回路に着手したのは、私が公開実演した時期と相前後していることは確かだと思うんですね。

■ノイス方式は怠け者の発想？

ＴＩ社のジャック・キルビーが集積回路を試作したのが一九五八年秋、それを一般公開したのが翌五九年の春であった。同じ頃、西海岸のフェアチャイルド社でも、ロバート・ノイスが別の方法で電子回路をシリコンチップの中に集積することを考えていた。それは世界を席巻したプレーナトランジスタの技術を大幅に利用した集積回路で、極めて量産性に富んだ方法であった。まず、開発者のロバ

ート・ノイスに登場してもらおう。

ノイス　ジャック・キルビーと私は、ICに関してはまったく別々に開発を進めていました。戦後は信頼性が高く、小型軽量の電子機器に非常に高い関心が寄せられていました。すでにアメリカがミサイル時代に突入していたからです。

——なるほど。

ノイス　そこで問題は、どうして技術を確立するかということでしたが、実は私が考えたICは自分が怠慢だからできたのだと思うのです。というのは、それまでの産業を見ると、シリコンウエハーに搭載された多くのトランジスタを切り離して、その一個一個を女子工員が顕微鏡の下で細いワイヤーをつないでいました。そんな面倒なことをしないでも、シリコンウエハーの上でいきなり配線してしまえば楽なのにという、極めて横着な発想が私の出発点でした。

——ICの将来性については認識されていたんですか。

ノイス　いいえ、そのときは、事柄の重要性にはまったく気がついていませんでした。現在のように、一つのシリコンチップの上に何百万ものトランジスタを載せることができるなどとは、想像もしませんでした。

三〇八ページの写真右は、一九六一年にフェアチャイルド社が、世界で初めて量産に成功した集積回路の量産風景である。マイクロ・ロジック素子として数種類つくられたファミリーのなかの一品種で、四個のトランジスタと二個の抵抗で構成したRTL（レジスタ・トランジスタ・ロジック）をシリコンチップの中に集積した。丸いボタン状の一個一個が集積回路である。これに金属ケースをかぶせて

図13　プレーナトランジスタのコンタクトホール形成

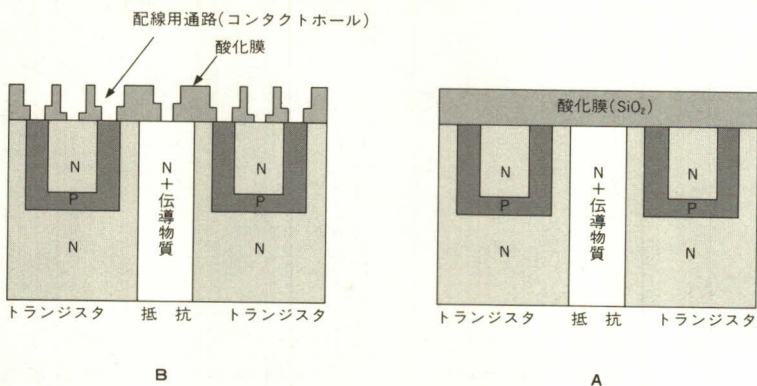
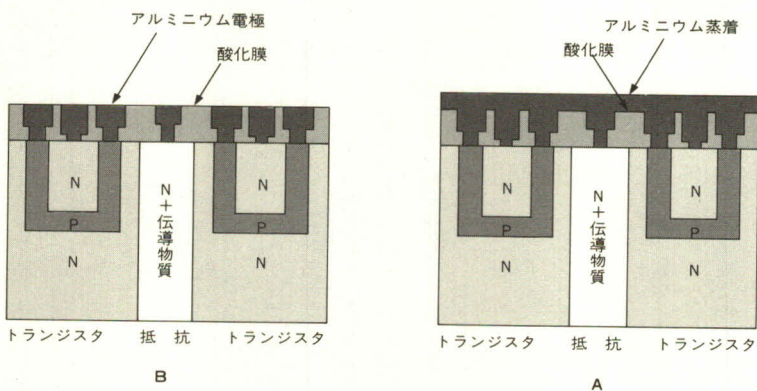
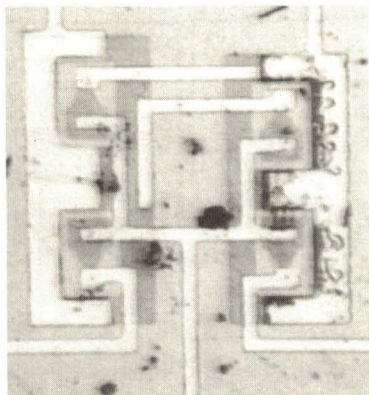



図14　プレーナトランジスタの電極形成

フェアチャイルド社は世界で初めて集積回路の量産に成功した。写真右は、当時の生産現場。写真上は、1個の集積回路を拡大したもの。道路のように走る白い線が金属配線

商品は完成する。一個だけを拡大すると、周りに八本のピンが立っているが、その中央に直径五ミリほどの円形のシリコンチップが載っている。シリコンチップだけを拡大してみると、写真左のようになる。シリコンの表面は全体が酸化膜で覆われているが、その上に見える間取り図のような白線が金属箔である。これが、酸化膜の下につくり込まれた各部品をつないでいる金属配線である。つまり、シリコン結晶の内部につくり込まれた四個のトランジスタと二個の抵抗を、酸化膜を介して金属箔がつなぎ合わせている。

これを実現する方法こそ、ジーン・ハーニーが考案したプレーナトランジスタの電極取り付けの工程そのものであった。プレーナトランジスタの工程を思い出していただきたい。シリコンに酸化膜をつけ、感光剤を塗り、マスク図形を重ねて露光、現像、フッ酸処理で酸化膜に窓を開けて拡散炉で伝導物質の拡散。これを何度

も繰り返すことで酸化膜の下にトランジスタ構造をつくり込んだ。抵抗器は伝導物質を拡散させることでつくり込むことができるから、そのようにマスク図形を設計し、工程を増やすことで、シリコンの中に抵抗器もつくり込むことができるわけである。

さて問題の配線だが、たとえば図13Aのように、一つのシリコンに二個のプレーナートランジスタをつくり込んだあと、全面を酸化膜で覆い、感光剤を塗り、マスク図形を重ねて露光、現像、フッ酸処理をすると、同図Bのように酸化膜に配線通路用の窓が開く。

これからが大事なポイント。酸化膜の下に埋め込まれた部品の頭上に配線用の通路をつけたところで、この上からシリコン全面にアルミニウムを真空蒸着させる。その状態が図14Aである。酸化膜の下の部品群が、すべて金属膜でつながっている。

この状態で金属膜の上から感光剤を塗り、配線用のマスク図形を重ねて露光し、現像・薬品処理をすると、図14Bのように電線部分の金属膜だけが残り、不要部が流れ去る。

さて、これまでにもしばしば金属膜をつけるという工程が出てきたが、これはおおむね真空蒸着という方法のことである。

真空炉の中に金属をセットして電気を通す。金属は白熱化し溶けて金属の蒸気が立ちのぼる。炉の中にシリコンを入れておくと、金属の蒸気がシリコンに触れて表面に膜が付着する。こうしてシリコンに部品群だけでなく、配線までもつくり込むことができたのである。

プレーナ技術あってのアイディア

では、フェアチャイルド社の場合は、集積回路のアイディアがどのような経緯で実現していったのだろうか。ロバート・ノイスが述べたように、「私が横着だったから」というのは、少しできすぎた話ではなかろうか。九人目のフェアチャイルド・マンと自認するマレー・シーゲルさんは、その辺の事情について次のように語っている。

一九五〇年代の終わりから六〇年代初頭にかけて、急成長を遂げるフェアチャイルド社は、収益の一五～二〇パーセントを毎年研究開発にあてていた。時代の先取りこそが生き残る術だとだれもが考えていたからである。だから、積極的に新しい商品の開発を幾つも平行して進めたが、そうしたなかにマイクロ・ロジックという論理素子の研究が進んでいて、それが集積回路開発への入口だったと言うのである。

シーゲル　一九六〇年の初めには、最初はマイクロ回線と呼んでいましたが、簡単な論理回路をシリコンチップに搭載するマイクロ・ロジックの研究に着手していました。これは一個のシリコンチップに二個のトランジスタを隣接してつくり込み、それらを外側で配線したのです。単一のシリコンチップに、複数のトランジスタや部品を載せようという、集積回路らしい発想が、すでにこのときから潜在的にはあったのです。

――マイクロ回路という発想は、だれが最初に？

シーゲル　マイクロ回路の発想を言い出したのは、ボブ・ノイスとジーン・ハーニーだったと思

います。

——二人ですね。

シーゲル　そうです。プレーナ技術が実現したとき、ウエハー上に複数のトランジスタをつくることが可能であり、しかもそれらを相互に接続できることに気がついたのです。

——金属配線の工程ですね。

シーゲル　そうなんです。彼らがこの発想を口にすると、まるでフットボールでボールを受け渡しするように、アイディアがエンジニアからエンジニアに渡り、どんどん膨らんでいきました。だれが主導権を取るということもなく、アイディアがどんどん一人歩きして実現していったのです。

——なるほど。

シーゲル　そんなわけでプレーナ技術が登場する前でも、一つのパッケージの中に二つのトランジスタを載せるところまでは、すでに行っていました。

——それを外側で線でつないだんですね。

シーゲル　そうです。ですから、プレーナ・プロセスが実現すると、突然私たちは複数のトランジスタを一つのシリコンチップに搭載し、それを相互に接続できないだろうかと考え始めたのです。

フェアチャイルド社時代の物品や資料は、現在ナショナル・セミコンダクタ社で保存されている。そこの社長がフェアチャイルド社出身のチャーリー・スポークであったが、彼が最近一冊の研究ノートを探し出したという。

それは、長年紛失したとばかり思われていたジーン・ハーニーの研究ノートであった。そこには、ジーン・ハーニーがプレーナ法の思いつきを記入したあとに、今度はロバート・ノイスが部品相互を金属箔で配線するアイディアを連記していた。フェアチャイルド社最初の販売責任者だったトム・ベイが、その驚きを次のように語っている。

ベイ　まったくびっくりしたんですが、ジーンがプレーナ法について書いた直後に、今度はボブ・ノイスが記入しているんですね。それはシリコンチップの上にアルミニウムを真空蒸着して配線をするというアイディアなんです。チャーリー・スポークが「これはすごい、集積回路につながる最初の発想が書かれている」と興奮していましたが、確かにプレーナ技術の登場が集積回路の発想を誘発したんですね。しかも、それらがほぼ同時だったんですから、あらためて驚かされたわけです。

他社に一〇年の差をつけた

先に詳しく書いたように、PNP構造のシリコン・メサトランジスタは製造が非常に困難なトランジスタであったが、それを担当したのがジーン・ハーニーであった。その彼が、プレーナトランジスタのアイディアを最初に研究ノートに記したのが一九五七年一二月一日、つまりフェアチャイルド社設立直後のことであった。

そのノートにロバート・ノイスがトランジスタや部品などをアルミ蒸着で配線するというアイディアを連記していたというのである。しかし、それを実現する方法が見つからないままに時が過ぎて、

4 transistor

Top view of wafer

Fig. 1

Oxide layer removed within circles

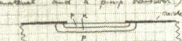
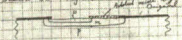
The base and emitter regions are obtained by diffusion of impurities giving the desired conductivity type. The cross-section of one of the unoxidized islands looks so after diffusion (for p type base material and a pnp transistor).

oxide

Fig. 2

It will be seen that in this way the parts of the silicon surface where the junctions emerge are masked at all times by the oxide layer. It is known that most impurities of interest (except Gallium) do not diffuse into the silicon wherever an oxide layer is present. Contacts have to be made to the three regions, which requires that parts of the oxide layer be removed to permit these contacts. The structure shown on Fig 2 is not suitable in that the width of the base exposed to the surface is only a few microns, and is too small to make a suitable contact. A design improving this situation is shown on Fig 3

Added oxide layer after diffusion of the base impurity

Original oxide layer

Read and understood Dec 1, 1957

R. N. Noyce

最近になって発見されたジーン・ハーニーの研究ノート(写真右)。1957年12月1日にノイスがサインしている

試作に成功したのは三年後の一九六〇年のことであった。

ハーニー　重要なことは、ボブがフォトレジストの専門家だったということです。言い換えれば、マスクの専門家だったのです。フォトレジストを使うためには、シリコン表面に感光膜をつけて写真乾板のような図形マスクパターンを重ねて露光させるのですが、ボブ・ノイスはそのプロでした。マスクに焼き付けるパターンを一手に引き受けていたのが、ジェイ・ラスト博士でした。シリコン表面全体に金属箔を蒸着させ、そのあとで配線となるべき必要部分だけ残して不要部分をフォトレジストの技術で除去すれば、シリコンウエハーに回路を組み込むことができるのではないかと、ノイスとラスト博士は考えました。

——なるほど。

ハーニー　部品層をつくり込んでしまったら、それをいったん全面を酸化膜で覆う。その上の必要な場所だけに窓を開けて、配線用の通路とする。こうしておいて、今度は全面に金属膜をつけると、酸化膜の下の部品がすべて金属膜でつながってしまう。こうやっておいて、今度は不要な金属膜をフォトエッチングで取り除く。こうして部品層が酸化膜を介してアルミ配線層とつながり、立体構造が完成する。ちょうど二本の道が立体交差しているようなものですね。上下の道が触れないで、交差しているというわけです。

――それをノイスさんが考えたんですね。

ハーニー　彼が集積回路のこういった側面に関しての特許を取ったわけです。しかし実は、これはプレーナトランジスタのつくり方そのものだったのですね。プレーナ技術がなくては、ノイス博士の集積回路も考えられなかったと思うのです。酸化膜による階層構造が基礎になって、部品層と配線層という立体構造のアイディアが生まれ、実現したのだと思います。「酸化膜を介しての相互接続」は、プレーナ・プロセスがあって初めて可能になったのです。

――なるほど。

ハーニー　ですから、フェアチャイルド社は私のプレーナ技術を使ったおかげで、他社に一〇年は先駆けることができたと思います。

内部のトランジスタの絶縁法

なるほど、シリコン内部につくり込まれたトランジスタや部品をシリコン上で配線する方法は理解できた。では、シリコン内部のトランジスタ同士を互いに分離独立させる方法はどうしたのだろうか。これについては、さまざまな試行錯誤が繰り返されたようである。フェアチャイルド八人衆の一人で、回路設計と製品応用の担当者だったビクター・グリニッチさんは、次のように回想する。

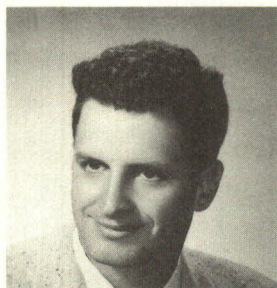
グリニッチ　集積回路のアイディアが生まれたとき、私たちが使えたプロセスは非常に限られたものでした。ですから、集積回路の実用化には大変な試行錯誤が必要でした。何をやってもなかなかうまくいかなくて大変でした。ほんとうに綱渡りだったのです。

——何に苦労なさったのですか？

グリニッチ　隣接するトランジスタや部品を、シリコン内部で絶縁する方法が見つからなかったのです。実用的なＩＣにするには、ジャンクション・アイソレーション（接合隔離）を使う必要があったのです。しかし、これは急には思いつきませんでした。徐々に開発されたのです。

——ああ、最初は絶縁の方法が見つからなかったのですか。

グリニッチ　ええ、そうでした。

——最初はどんな方法を試みたんですか。

当時のグリニッチ氏

グリニッチ　最初の集積回路はまったく実用とはほど遠いものでした。シリコンの裏側をエッチングするバックエッチ・プロセスを使って生産されたのです。まずシリコンの表面にプレーナトランジスタをつくっておき、そのあとでシリコンの裏側を薬品でエッチングして、トランジスタを分離しました。ですからトランジスタは、表面の酸化物と周囲に残ったわずかなシリコン基板だけで、辛うじてくっついていたようなものです。非常にもろくて、とても実用には耐えられないと思われました。

この説明で私たちにも理解できたことは、さすがのフェアチャイルド社のエンジニアたちも、最初はシリコン内部のトランジスタ同士を絶縁する方法が見つからなかったということだけで、ほかの説明はチンプンカンプンであった。日本の専門家に聞くと、次のように推定してくれた。

図15のように複数のプレーナトランジスタをシリコンにつくり込んだあと、まず裏面全体を薬品で削り取って薄くした上で、さらにトランジスタが隣接する部分だけを薬品で溶かして、すき間をつくってやったのではないかというのである。

こうなると、これはまさに表面の酸化膜と周囲のシリコン基板だけに支えられていて、まことにもろくて実用にはほど遠い集積回路だということになる。

さまざまな試みを繰り返しているうちに、ロバート・ノイスが「接合隔離」とか「接合絶縁」と呼ばれるアイディアを提案した。その内容を、当時研究開発部長だったゴードン・ムーアさんは次のように説明してくれたが、これまた私たちにはまったく理解できない。

ムーア　シリコン結晶には複数のトランジスタをつくり込むわけですが、問題は隣接するトランジスタ同士をいかに絶縁するかということでした。結晶内部で隣接しながら、電気的には

図15　バックエッチング法による集積回路

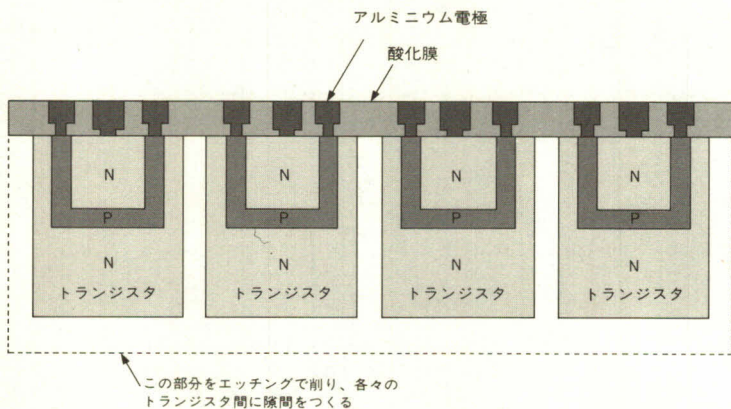
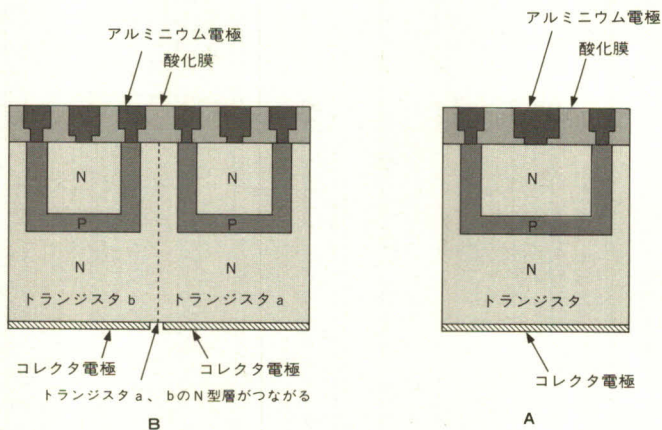



図16　プレーナトランジスタの集積回路

独立させなければなりません。そうしないと、一個一個がトランジスタとして働かないのです。

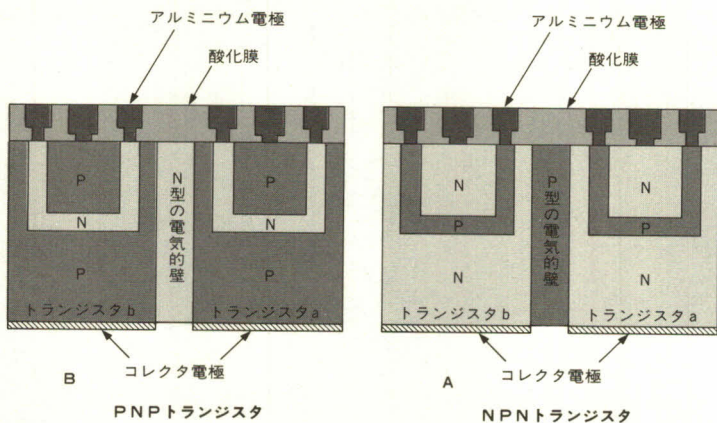
――なるほど。

ムーア　そこでボブが考えたのは、シリコンの中にPN接合をつくってやることで、トランジスタとトランジスタの間に電気的な絶縁の壁をつくってやることでした。これを接合隔離といいましたが、実際の工程ではトランジスタとトランジスタの間隙に不純物を拡散させてやることで済みました。

読者もおそらく、何のことだかさっぱり見当もつかないことであろう。私たちも「シリコンの中にPN接合をつくってやる」とか、「接合隔離」という言葉が突然飛び出して面食らったものである。帰国後、日本の専門家に聞き歩いてやっとわかった。

たとえば、図16Aはプレーナトランジスタを一個だけシリコンにつくり込んだときの状態である。さて次に、図16Bのようにab二個のトランジスタを隣接させてみよう。

これでは、トランジスタaとトランジスタbのN型層（コレクタ）同士がつながってしまって、トランジスタの働きをしなくなる。だから、aとbを離す必要がある。遠くに離せば問題がなくなるのだが、それでは集積度が上がらない。したがって、なるべく接近させて隣接させたい。ミクロンの距離に接近させると、今度は絶縁が悪くなって障害が起きる。そこでロバート・ノイスが考えたことは、aとbの間に電気的な壁をつくってやることだった。NPN型トランジスタを隣接させる場合は、図17AのようにP型の壁をつくり、PNP型のトランジスタを隣接させる場合は、図17BのようにN型の壁をつくってやるのである。

図17　プレーナトランジスタの接合隔離

ここでの図解では二個のトランジスタを隣接させる場合について説明したが、膨大な数のトランジスタを隣接させることになれば、壁の厚さは数ミクロンということになる。ところが、数ミクロンのすき間にどうやってN型とかP型をつくればよいのか。

ロバート・ノイスは、集積回路のアイディアを思いついた直後に研究開発部長から総支配人に昇格した。

ノイスのあとを継いで、ゴードン・ムーアが研究開発部長になった。ノイスは自分のアイディアの実現をゴードン・ムーアと仲間たちの手に委ね、実際の開発はジェイ・ラストとその部下たちが推進することになった。それは当初考えたほど簡単ではなかった。試行錯誤の繰り返しであったという。

――簡単にはいかなかったんですか。

ムーア　いいえ、とんでもない。たとえばボブ・ノイスが提案した接合隔離を

図18　プレーナトランジスタの第一次拡散

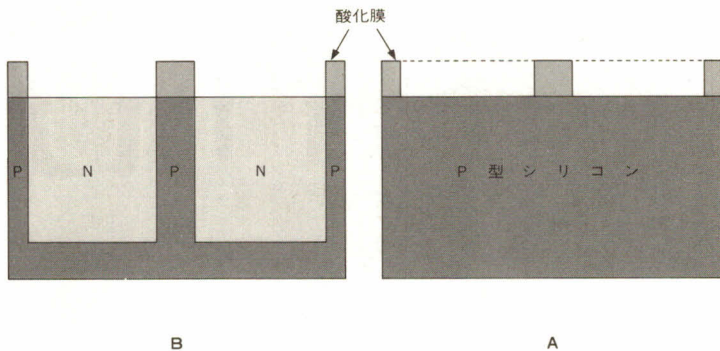
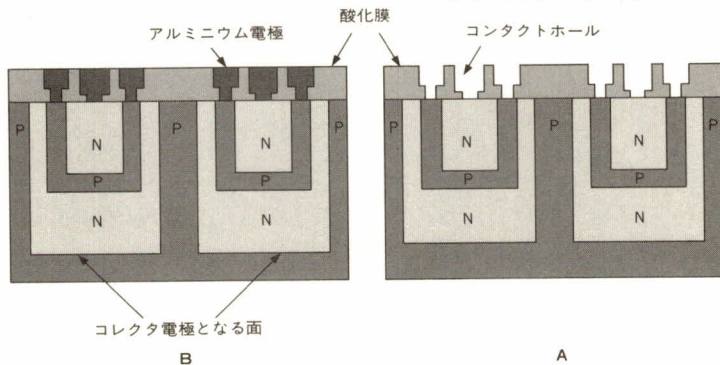



図19　三重拡散を行ったプレーナトランジスタ

実際にやろうとすると、非常に高い温度で長時間の拡散作業をやる必要がありました。ですから、終夜連続で拡散炉を稼働したのですが、あるときなんか、あまりに高い温度で長時間運転したものですから、石英管が溶けて湾曲していました。

——拡散炉が溶けてしまったんですね。

ムーア　ええ。しかも、その時は拡散炉の中の試料は完全に燃え尽きて跡形もありませんでした。それくらい、シリコンが耐えうるぎりぎりの高温度だったのです。

この話も、石英管が溶けるほど高熱で長時間の拡散をしたことだけは理解できたが、なぜそのような拡散作業が必要であったのかが、今一つわからない。日本人に話を聞くときは、理解できるまで根掘り葉掘り聞くことができるが、貧しい英語力ではそれができない。まず記録しておいて、帰国後調べるということになる。この巻の最後に、日本人技術者がアメリカの学会に出て行ってはひたすらスライドをカメラで撮りまくる話が出てくるが、語学力の貧弱な私にはまことにもっともな行動であった。

接合隔離というのは、すでに見てきた通り、トランジスタとトランジスタが隣接するミクロン幅のすき間にN型層とかP型層をつくってやることであり、それを実現する方法が拡散作業であった。簡単に方法を説明しよう。まず図18Aのような P型シリコン基板を用意する。P型の伝導物質（不純物）を添加して作った単結晶を、薄くスライスしたものである。

これに順次図18Bのように、P型拡散、続いてN型拡散をしていく。最後にN型拡散を実施する。こうして図19Aのように、複数のプレーナトランジスタがP型壁をはさんで隣接する構造になる。ところがこれは、拡散作業を前後三回も繰り返すことになり、大変な難作業になる。

最初に一番下のN型拡散、二回目に中間のP型拡散、三回目に一番上のN型拡散と三重拡散をしなければならないのだが、回が増えるごとに高濃度の拡散をしなければならない。そのためには、高温で長時間の拡散作業を精密に実施する必要があった。いかに活性の激しいシリコンでも、三重拡散のプロセスは非常に困難で量産向きではなかった。だから、ロバート・ノイスが考えた接合隔離という方法も、言うは易しくても、簡単には実現しなかったというのである。

「巨大な宝の山に気づかなかった」

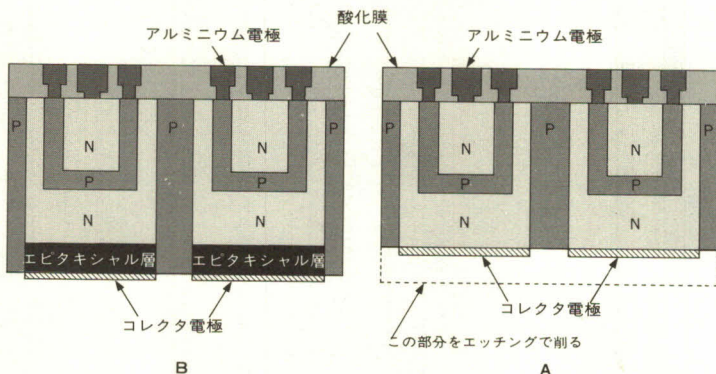
単体のプレーナトランジスタの場合は、図16Aのようにシリコン基板がコレクターになっているので、コレクタ電極を取り出すことに何の問題も起きなかったが、上のような方法を取ると図20Aのように、コレクタが結晶内部に埋め込まれた状態になり、電極が取り出せなくなる。そこで、裏面の点線部分を薬品でエッチングして削りとるか、あるいは図20Bのように裏面から高濃度の伝導物質を拡散してやって、導体に近い状態にしようと試みたのである。

グリニッチ　接合隔離の考えに到達したあとも、それを実現するために私たちはいろいろなやり方を模索しました。裏側をエッチングしてみたり裏面から拡散してみたり、接合隔離はとても微妙で難しい技術でした。

――なるほど。

グリニッチ　そんなある日、技術者がバック・ディフュージョン（裏面拡散）を避けるよい考えを思いつきました。エピタキシャル成長といって、シリコンガスの流れる高熱炉にシリコン

図20　プレーナトランジスタのコレクタ電極形成

結晶を入れて表面に新しいシリコン層を堆積させる方法でした。このおかげで、集積回路の製造が革命的に変わりました。微妙でぜい弱な製法がつくり易くて丈夫な製法に変わり、生産速度が劇的に上がり、製品は安定化するようになったのです。集積回路の実用化は、エピタキシャル成長の導入なくしては、ありえなかったと言っても言いすぎではないでしょう。

エピタキシャル技術という言葉が出てきたが、今までのこの本ではまったく触れなかったが、現代の半導体技術では欠かすことのできない重要技術である。一言で表現すると、シリコン結晶の上に、新しいシリコンの層を積み上げる技術である。高熱炉の中にシリコン結晶を入れ、そこに超高純度に精製されたモノシラン(SiH_4)ガスを流して加熱すると、シリコン結晶の表面

に霜が積もるように新しいシリコンの層が成長するのである。シリコン基盤の上にできたわずか数ミクロンの表層に、トランジスタも抵抗も配線もつくり込むのである。この技術の登場で接合隔離のための拡散が容易になり、集積回路の量産が可能になったのである。

エピタキシャル技術を使ってプレーナトランジスタをつくる方法を最初に考案したのは、ウエスタン・エレクトリック社の技術者たちであった。それが発表されたのは一九六〇年のことであったが、これを集積回路に応用したのがフェアチャイルド社のエンジニアたちであった。

グリニッチ　半導体産業が成功したのは、こうした華やかではないが、貴重な技術が少しずつ積み重なって今日まで来ているからです。けっして巨大な躍進ではありませんでした。トランジスタの発明は、確かに世紀の躍進でした。しかし、それ以外のステップは今までにあったものの積み重ねだったのです。

こうしてさまざまな困難を克服して集積回路の実用化に成功するのだが、開発者たちはそれがどんなに重大な出来事だったかを自覚してはいなかった。単にもう一種類のトランジスタが完成したという程度にしか考えなかった。それが革命的な出来事だったと気がつくのは、ずっとあとのことであったという。

ムーア　フェアチャイルドでは思い出せないくらいの多くのことが起こりましたが、なかでも印象に残っているのが、集積回路に対する将来性をまったく読み違えてしまったことです。私たちはフェアチャイルドの研究所でやっと集積回路が完成し、実際の生産へと移行したときのことを覚えているんですが、研究開発部の主な人物たちが集まって、「よし、これで集積回路ができたから次は何をやろうか」と話し合ったんです。私たちは新しいトランジ

スタを一つ仕上げて、一丁あがりといったくらいにしか考えなかったんですね。
——ところが?
ムーア　それは単に事の始まりにすぎなかったのです。集積回路こそがその後、何百兆、何千兆ドルという規模に発展していく巨大市場の根源であり、最初の完成は単にその表面をひっかいたにすぎないということを、私たちは全然わかっていなかったのです。
私たちがたった今、ベールをはいだばかりの、中身の大きさをまるでわかっていなかったんです。

消えていった超小型化技術

アメリカで一九五〇年代末から六〇年代にかけて、シリコントランジスタや集積回路技術が急速に発達した背景には軍事的要請が強かったが、その最大のきっかけは一九五七年にソ連が打ち上げた人工衛星スプートニクであったという。衛星軌道に物体を持ち上げる能力があれば、ソ連はそれをアメリカ大陸への核攻撃に利用するに違いないと国防総省は考え、恐怖したのである。
スプートニク打ち上げに続いてライカ犬を軌道に乗せ、間もなくガガーリン少佐が衛星軌道を周回した。アメリカも人工衛星の打ち上げを試みるが、失敗に次ぐ失敗を重ねた。ロケットの推進力に決定的な差があった。第二次大戦中に開発されたドイツのロケット技術を人間ごとそっくり確保したソ連は、アメリカの技術をはるかにしのいでいたのである。
衝撃を受けたアメリカの軍事関係者は、ロケット技術の追求と同時に、ペイロード(搭載物)として

の電子機器の改善も厳しく追求したのである。それは機器のマイクロ化、超省電力化、超高信頼性の獲得であった。

テキサス大学の教授で、TI社では集積回路の発明者ジャック・キルビーの上司であったウィリス・アドコックさんは、当時を次のように回想する。

アドコック 陸海空三軍が一斉にマイクロ化の後援を始めた背景について、一つだけ言える共通点があります。それは三軍が援助を開始したタイミングです。軍による巨額な資金援助は、一九五七年のソ連によるスプートニクの打ち上げ直後から開始されているのです。

——なるほど。

アドコック その頃アメリカでは、ロケットの推進力がまだ充分でなかった。ですから、とにかく軽量の電子機器がどうしても必要だったわけです。一方、ソ連のロケットは大変重く、しかも電子機器は真空管でした。それは、推進力がアメリカのロケットより格段に強力だったからです。劣勢な推進力で、なんとしてもロケット打ち上げを成功させるには、電子機器の超軽量化しか方法がなかったのです。皮肉にも、スプートニクの打ち上げがアメリカの威信に大変な打撃を与え、それがアメリカの電子技術を飛躍させるきっかけになったのです。

——なるほど。

キルビー 集積回路に対するニーズは、一九五八年に入ると幾らか兆候が現れてきました。コンピューター産業がちょうど急速に発展しつつあった時期なんですが、コンピューターというディジタル装置は同一回路を大量に必要としました。ですから、ラジオやテレビなどの

アナログ装置に比べて、簡単な回路を大量に使うという点で、集積回路はコンピューター・デバイスとしては最適でした。

——なるほど。

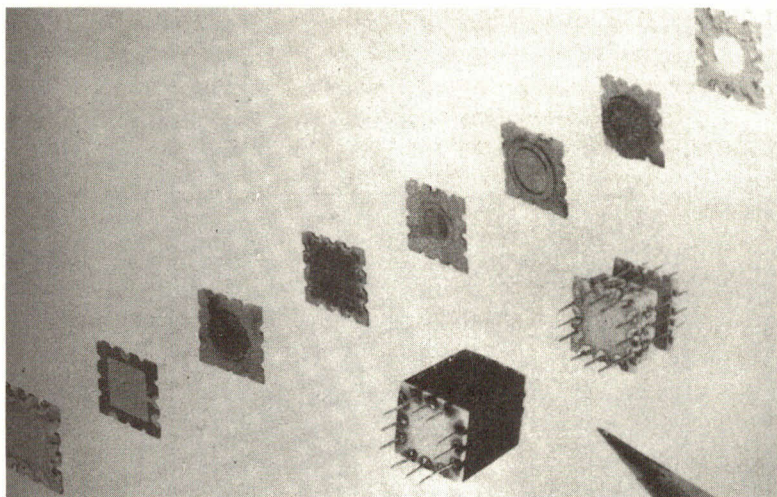
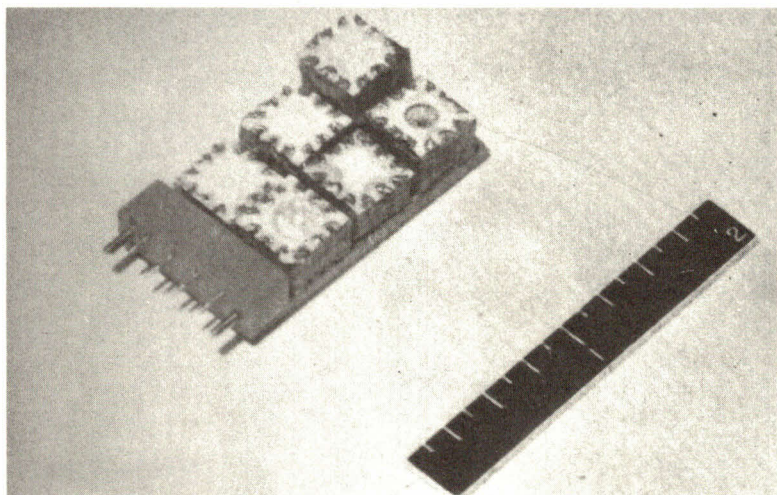
キルビー　一九五八年には真空管を製造していた大企業のほとんどは、まだ半導体を手がけていました。RCAもそうでしたし、ウエスチングハウスもGEも。ところが、彼らはトランジスタ単体をいかに小さくするか、そしてそれと、他の部品群をいかに小さく組み立てるかということしか念頭にありませんでした。その典型がマイクロモジュールでした。

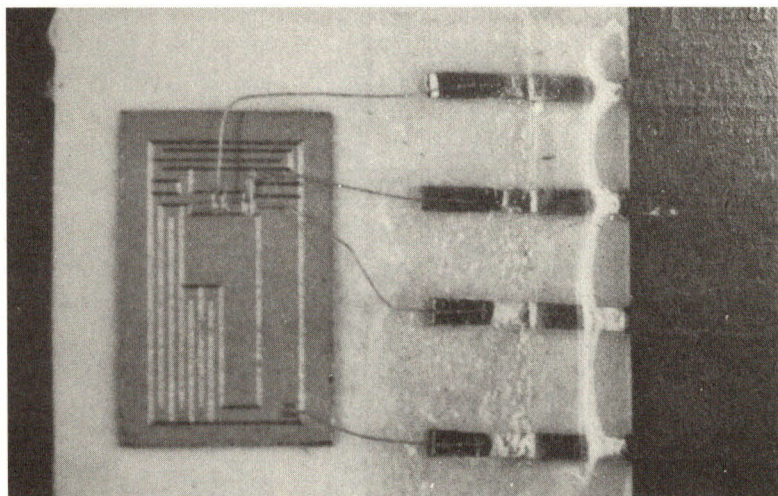
——それは？

キルビー　すべての部品を小型化し同サイズに統一することで、全体をコンパクトにし、かつ組み立てを容易にしようというのが発想の基本でした。RCAとシグナルコープが共同で行ったプログラムでしたが、当時それはかなり大きなプロジェクトで、おそらく国防総省がかつて行ったもののなかで最大の単一プログラムだったと思います。

——集積回路などという考えではまったくなかったんですね。

キルビー　まったく違います。一つの半導体チップに部品をつくり込んで、それらをチップ上で接続し、超小型の装置にするという考えなどまったくなかったのです。それが真空管メーカーの限界でした。

世界で最初に集積回路の概念を提案したのは、英国王立レーダー研究所のダマー（G.W.A. Dummer）であった。一九五二年、ワシントンで開催されたECC（Electric Components Conference）でレーダー部品の信頼性向上について述べた論旨のなかで、「半導体素子が発達したおかげで、今や外部配線を

小さなパネル状につくられたマイクロモジュールの部品

パネル状の部品をこのように重ねて組み立て、全体を小さくしようと意図した

することなく、電子装置も固体の中につくり込むことができるであろう」と予言したのである。
アドコック教授が一冊の報告書を見せてくれた。A四判二〇〇ページほどの分厚い書類であった。表題が『MICRO MINITURIZATION（超微小化技術）』となっており、その下には一九六一年七月二四日から二六日に開催されたAGARD（航空宇宙開発に関する諮問委員会）の会議録と明記されていた。
スプートニクショックの洗礼を受けた西側関係者が一堂に会して、電子機器マイクロ化の現状を分析し、将来の方向を模索した会議であった。編纂責任者が英国王立レーダー研究所のダマー。報告書はNATO航空研究開発所顧問グループの手で限定配付用に印刷されていた。
内容は、まずダマーが英国に於ける超微小化技術の現状と将来性について述べ、そのなかで一九五七年にダマー自らが試作した"Solid circuit"（固体電子回路）の模型のことに触れていた。
報告書には、当時推進されていたさまざまなマイクロ化技術について研究者が記述しているが、主要なものは「マイクロモジュール」「ソリッドサーキット」「モレキュラー・エレクトロニクス」の三つであった。
マイクロモジュールは前ページの写真のように、部品を幾つかの小さなパネルにつくっておき、それらを重ねて組み立てることで全体の容積を小さくし、かつ製造を容易にしようとする方法であった。しかし、部品一個一個を小型化するという方法には、限界があった。集積回路が登場すると、たちまち駆逐された技術であった。
モレキュラー・エレクトロニクスの見本が、次ページの写真である。この技術は、アメリカの巨大企業ウエスチングハウスが空軍の莫大な援助を受けて推進開発した技術であったが、まったく実を結

モレキュラー・エレクトロニクスの見本

ばなかった。これも集積回路の登場で姿を消していくが、皮肉にもモレキュラー・エレクトロニクスという名称だけを、TI社が使うことになる。そのてん末と始末について、アドコック教授が回想する。

アドコック　当時アメリカでは、軍関係者が非常にミニチュア化、マイクロ化ということに興味を示し始めていました。小型軽量で信頼性の高い装置が要求されだしたのです。当初、それにかかるコストは、それほど問題になりませんでした。費用がいくらかかってもマイクロ化できるかどうか、そちらのほうが第一目標でした。

――まず陸軍では？

アドコック　一九五八年から、陸軍通信隊がマイクロモジュール計画の援助を開始しました。彼らはマイクロモジュールの前に、ティンカー・トイ、

つまり積木方式というコンセプトを追求していましたが、その延長線上に出てきた計画が、マイクロモジュール計画だったわけです。

――積木のコンセプト？

アドコック　はい。それは、全体が四階建ての構造になっています。最上階には真空管、三階にダイオードやトランジスタ類、二階に抵抗器、一階がコンデンサー。各階はセラミックでできていて、部品が取り付けられている。セラミック板に取り付けられた部品層が、積み木細工のように重なっている。これがティンカー・トイの方式でした。そして、ティンカー・トイの最上部にある真空管をトランジスタに替えて、小型化を図ったのがマイクロモジュールでした。

――これはメーカーはどこが。

アドコック　ＲＣＡでした。つまり真空管屋らしい、真空管中心の発想から一歩も抜けることができないものでした。ですからこれは、集積回路の登場でたちまち消される運命にありました。一方、海軍は薄型のフィルムを使うというアイディアに小型化の可能性を見いだしていました。抵抗器やコンデンサーなどを、薄いフィルムにしたらどうかと考えたのです。しかし、これは考えただけで実現はしませんでした。

――さて、モレキュラー・エレクトロニクスですが。

アドコック　当時はモレクトロニクスと呼びましたが、これもマイクロモジュールと同じように、集積回路によって追放される運命にありました。ＲＣＡと同じように既存の巨大企業ウェスチングハウスが採用した技術でしたが、これを強力に支援したのが空軍でした。一九五

九年に空軍は、モレクトロニクス開発に対する援助を正式に決定し、ウエスチングハウスに莫大な資金を投入しました。

――相当な額でしたか。

アドコック　空軍は、ウエスチングハウスに契約費用として、およそ二〇〇万ドルを提供しました。というのは、ウエスチングハウス社以外に、そんな夢みたいな技術をやり遂げる自信などなかったのです。

軍と大企業チームの敗退

スプートニクに最も衝撃を受けたのは空軍であった。ソ連の巨大なロケット推進力には、ミサイルの精度を上げることで対抗しようとした。ペイロード（搭載物）を軽量化することで航続距離を確保し、電子機器を改善することでミサイルの精度を上げようと考えた。したがって、小型で信頼性の高いエレクトロニクス機器の必要性を最も痛切に実感していたのが空軍であった。

そこで空軍は、従来の回路や電子部品についての既成概念をすべて捨て去ることにした。まったく新しい発想に立った技術はないものかと模索していた空軍は、「モレキュラー・エレクトロニクス」、つまり「分子エレクトロニクス」と呼ばれる新しい方法に着目し、やがてそれに賭けた。

分子の基本構造を研究して、さまざまな物質の中から従来のダイオードや抵抗器の機能を果たすものを探そうというのである。空軍の将軍たちの強力な後押しで、分子エレクトロニクス計画には五〇〇万ドルという莫大な国家予算が投入された。だが、この計画からは何も生まれなかった。

キルビー　半導体技術はすでに限界に達したと考えるグループが、モレキュラー・エレクトロニクスを始めました。シリコンとかゲルマニウムの半導体材料については知りつくしたのだから、今度はゲルマニウムやシリコンとは別に、機能別に新しい材料を発掘する必要があるとか、抵抗はエネルギーを無駄にするだけだから電気回路に取り入れるのは避けるべきだとか、半導体技術の原理やそれまでの技術蓄積をまったく無視した、まことに荒唐無稽とも言うべき理論でした。結局は無残な失敗に終わるのですが、空軍がこれにとり憑かれて大規模なプロジェクトになってしまったのです。ところが、莫大な資金を投入しながら何の結果も出ませんでしたので、空軍は苦りきっていましたが、そんなとき、私たちが集積回路を発明したのです。そこで空軍は、結局私たちの集積回路こそ、モレキュラー・エレクトロニクスの実例だと言い出しました。実はそのことが、私たちにとっては幸いでした。というのも、そのためにモレキュラー・エレクトロニクスに投じていた資金が、私たちにシフトされたからです。

――もともとは、どんな経緯で生まれてきた技術だったのですか。

アドコック　モレキュラー・エレクトロニクスの話をするには、一九五〇年代の初めまで時代を戻す必要があります。英国王立レーダー研究所のダマーが、半導体技術に続く次世代技術として、「分子的電子技術」を言い出したことに端を発しています。彼が分子レベルで素材を研究すると、いろいろな素材からいろいろな機能を引き出すことができるのではないかと提案したのです。ゲルマニウムやシリコンなど、既存の素材にとらわれることなく、機能別にさまざまな物質を追求するべきだと、彼は主張しました。

――それは、学会か何かで発表したのですか？

アドコック　一九五二年、ダマーがワシントンにやって来て講演をしたのです。そのときの内容ですが、回路に絶縁体、導体、ダイオード、増幅素子などを個別につくり込んで、しかも線でつなぐことなく一体化した装置にすることができるのではないか、ということでした。当時の電子業界が、トランジスタをピンセットでつまんでは線でつないで装置に組み立てていた時代ですから、こういうことができればいいなといった程度の希望的表現だったのです。

――なるほど。

アドコック　アメリカの電子関係者は、ダマーの講演に大変刺激されたのです。ただ彼は、この時点ではどのようにしてそれをつくったらいいのかということは、まだ何もわかっていませんでした。とにもかくにも、絶縁層、誘電層などのさまざまな層を重ね組み合わせることで回路を構成し、装置として機能させようと考えたのです。ところが、これはまったくの空理空論にすぎず、具体的には何をどうしたら実現できるのか、方法論は何もなかったのです。極論すれば、単に希望的な空想論にすぎず、無責任なことには、そういったことが実現すれば、いったい何が達成できるのか、それすらもわかっておりませんでした。

――この考えに一番深くとり憑かれたのが、ウエスチングハウス社だったわけですね。

アドコック　そうです。

――ウエスチングハウス社には、モレクトロニクスを使った製品というのはなかったんですか。

アドコック　いいえ、私が知るかぎりではありません。彼らも最終的にはＩＣのほうへと進路を

変えていきます。ですから、モレクトロニクスの製品といったものは皆無でした。

——何かサンプルらしいものはあったのですか。

アドコック　はい。サンプルと称するものはありましたが、その構造と工法の詳細は発表されませんでした。ですから、サンプルも、中身がいったいいかなるものだったかも定かではありませんでした。事実それは、その後どういうものにも発展しませんでした。

——なるほど。

アドコック　ところが、電子機器のマイクロ化が世界的な潮流になると、何かを入れると一瞬のうちに機能が生まれる魔法の技術、ともてはやされて、時代の先端を行くブーム技術に化けたのです。まったく不思議な現象でした。なんとなく水晶の精製だろうかとか、あれやこれやとワイワイガヤガヤとやっているうちに、やがて登場したジャック・キルビーのICに完全に駆逐されてしまうのです。

——半導体史の奇談ですね。

アドコック　まったく、ウエスチングハウス社が何を狙っていたのか、その辺も実はちっともはっきりしていないのです。どうも、そのときの彼らの言っていることから判断するに、半導体関係のおよそ二〇年に及ぶ経験をまったく無視するようなアプローチをして、何かまったく新しい革命的な発明をしようと、狙っていたとしか思えないからです。

——そんな技術に、空軍ともあろうものが飛びつくとは。

アドコック　空軍側の考え方としては、既存の半導体技術を基礎にしているような技術はいっさい認めないという考え方でした。彼らはもろもろの既存技術を一気に飛び越えるような、

革命的なブレークスルーが欲しかったのです。スプートニク・ショックが一番深刻だったのは空軍でしたから、わらをもつかむ気持ちであったんでしょうね。

――そして、本当にわらをつかんじゃった。

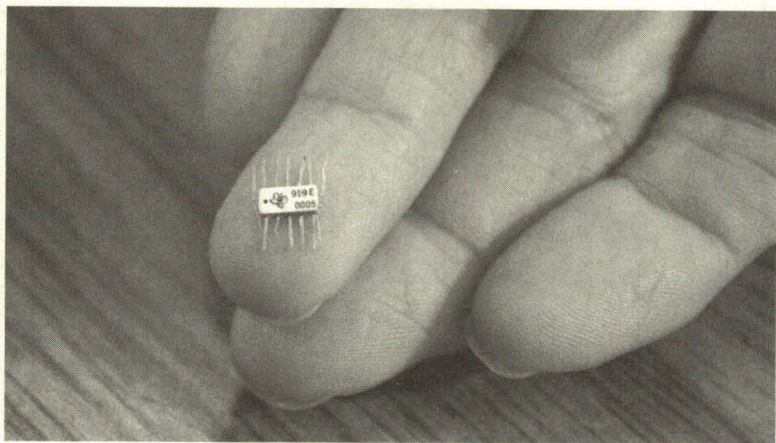
アドコック ただ、モレトロニクスの功績として挙げられるのは、この新しいアイディアに空軍が大変興味を示したということでしょう。ですから、空軍の莫大なお金がこのモレトロニクスの研究に提供されました。そして皮肉なことに、結局それらの大半が、集積回路の研究に振り向けられたのです。つまり、モレトロニクス自体は具体的な技術を生み出す前に敗退を余儀なくされたのです。その後、ウエスチングハウス社は、ミニットマン計画でもわが社と争いましたが、無残な敗北に追い込まれました。

――既存の技術の枠から出ることができなかったRCA、半導体の原理を無視して荒唐無稽な技術にとり憑かれたウエスチングハウス。いずれも既存の大企業が、集積回路の開発という局面で敗退したわけですね。

アドコック その通りだと思います。

まず空軍がTI社に乗り換えた

アメリカでは既存の大企業が、集積回路時代の入口でいかにつまずいたかを雄弁に物語る話である。真空管時代からゲルマニウムトランジスタ時代には乗り遅れなかった大企業が、シリコン時代には出遅れ、集積回路の入口では完全に敗北してしまうのである。

ところで、結局は敗北を余儀なくされる運命にあったウエスチングハウスの「モレキュラー・エレ

製品化第１号のキルビーＩＣ

クトロニクス」にとり憑かれ、熱中した日本の会社があった。ウエスチングハウスと技術提携を結んでいた三菱電機である。正体不明の技術に翻弄され、悪戦苦闘する様子は下巻で紹介することにして、ここでもう少し集積回路と軍事・宇宙の関係を見ていくことにする。

一九五八年秋、集積回路を開発したＴＩ社のジャック・キルビーとウィリス・アドコックは、集積回路を売り込むために陸海空の三軍を駆け回った。海軍はまったく興味を示さなかったし、陸軍はおりから進めていたマイクロモジュールとの互換性を問題にした。空軍は最初はまったく興味を示さなかったが、「分子エレクトロニクス計画」に自信を失いかけていた一人の大佐が、キルビーたちの集積回路に注目した。

アドコック　ジャック・キルビーがＩＣを発明したとき、実は私が空軍に売り込みに行ったのです。というのも、われわれはいつだって充分に資金に恵まれることがあ

りませんでしたが、特にあのときは資金が足りなくて苦しんでいました。それで、生まれたばかりの新技術を売り込みに行ったのです。

——それで結果は？

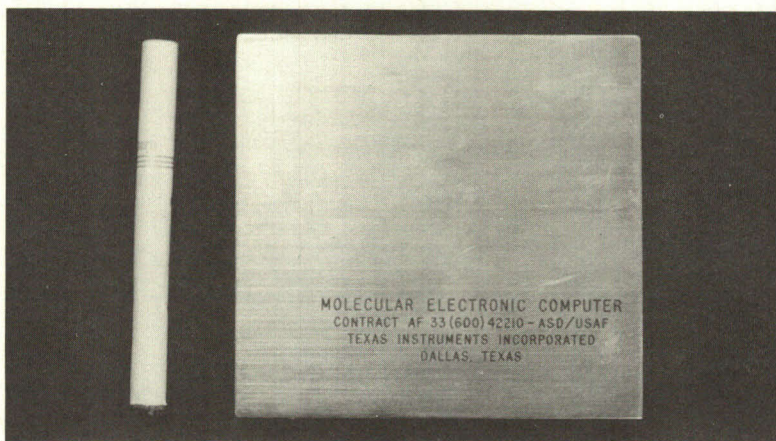
アドコック　私は、担当のディック・アルバート大佐に開口一番こう言ったのです。「うちのジャック・キルビーが今度発明した技術は、きっと空軍の面子を立てると思いますよ」とね。

——面子を失うことがあったのですか。

アドコック　ええ。というのは、空軍御用のウエスチングハウスは、モレクトロニクスで何一つ成果を上げていなかったので、さすがの空軍も窮地に陥っていました。ですから、彼らは面子をつぶさないで済む話には乗ってくれると踏んだのです。そこで私は「もし開発費を当方に回してくれたら、集積回路の開発で大きな貢献をしたのは空軍の援助だった、と論文に書いてもいいですよ」と言いました。もっともウエスチングハウスに比べれば微々たるものでしたが、私たちも空軍から資金援助を受けていましたから、まったくの嘘ではありませんでした。

——なるほど、相当な心理作戦ですね。

アドコック　とどめの一言はこうでした。「しかも、これで陸海空のマイクロ化レースでは空軍が一歩先んずるわけですからね」と。こうして、モレクトロニクスに用意されていた開発費が、私たちのところに投じられることになったのです。

軍事官僚の足元をしっかり見すえた見事な交渉であった。ディック・アルバート大佐はウィリス・アドコックの絶妙な説得に同意して、ウエスチングハウス社からＴＩ社に乗り換えたのである。大佐

キルビーＩＣを使ったミニットマン・ミサイル搭載用コンピューター

は空軍用の集積回路を開発する費用として一〇〇万ドルの援助を約束。この資金で開発された「ソリッドサーキット」は、「モレクトロニクス」と呼ばれた。かくて官僚は面子を失わずに済み、ＴＩ社は開発資金を手にできたのである。ジャック・キルビーが集積回路を発明した翌年、一九五九年六月のことであった。

アドコック　ソリッドサーキットが最初に使われたのは、ミニットマンの誘導コンピューターでした。空軍がわれわれのスポンサーとなって、開発費を負担してくれ、技術開発をしたのです。もちろん宇宙計画にも使われました。宇宙計画では電子機器の小型軽量化が大変重要でした。電子部品間の接続が小さくなった結果パッケージが簡単になり、そして装置は非常にコンパクトで高い信頼性を獲得できたのです。

——ミニットマン計画の誘導コンピューター

は成功したんですか。

アドコック　もちろんです。われわれが開発したコンピューターは、ミニットマン・ミサイルを開発していた人たちから大変注目されました。ミサイルに搭載する誘導コンピューターに使えるのではないかということになり、まず手始めにデモンストレーション用の小型コンピューターをつくり上げ、その成功でミサイルの誘導システムを集積回路でつくる契約が取り交わされたのです。

――なるほど。

アドコック　もちろん、誘導装置の回路設計はノースアメリカン、現在のロックウェル社が担当したものですが、それを集積回路にしたのはTI社でした。それは非常にスマートな、小型のコンピューターでした。このデモ用のコンピューターを持って、ハガディの社長はワシントンをはじめ全国を販売行脚して歩いたのです。

――なるほど。

アドコック　これがきっかけになって、私たちは空軍のミニットマン・ミサイルシステムに深くかかわるようになりました。ミサイルに搭載する超小型誘導コンピューターとして、私たちはいろいろなタイプの集積回路を設計製造し、納めました。というのも、空軍側はミサイルの命中精度を飽くことなく上げようとしましたので、私たちも誘導コンピューターを際限なく改良していったのです。こういうわけで、私たちは量的にも質的にも、軍事用ICに密接にかかわっていたのです。

ミニットマン改良計画は、月四〇〇〇個という膨大な数のICを必要とした。これらのほとんどを

製造したのがTIであった。こうした空前絶後の発注が、TIを世界的なICのトップ企業に押し上げたのである。

――では、NASAも相当の資金援助を?

アドコック　いえ。NASAは空軍のように集積回路の技術開発を資金的に援助するということはありませんでした。ですから、わが社がNASAと一緒に共同で何か作業したということはありませんでした。

すでに一九六〇年におけるアメリカの電子部品及びシステムの総売上は一〇〇億ドルを超え、一〇年前の四倍に激増していた。その年間成長率は一五パーセントになり、一般工業生産のそれをはるかにしのぐものになっていた。

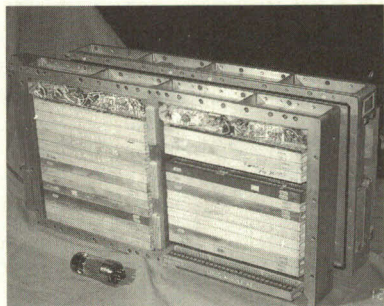
宇宙開発競争で爆発したIC生産

一九六一年春、フェアチャイルド社は六種類のワンチップIC「マイクロ・ロジック素子」を発売した。それは、ディジタル・コンピューターの基本をなす論理回路をシリコンチップに集積したICであった。その数週間後には、TI社も「固体電子回路」を発売。これも、三個から四個のトランジスタと六個のダイオード及び抵抗器を、一チップのシリコンにつくり込んだ論理回路であった。その値段が一個一二〇ドル。当時、最良のトランジスタと部品を使って組み立てれば、容積は大きくなるが、労賃を勘定に入れても一二〇ドルよりはるかに安くできた。当然のことながら、値段は「学習曲線」の上限に張りついたままで、大量生産に入らないかぎり、下がる見込みはなかった。

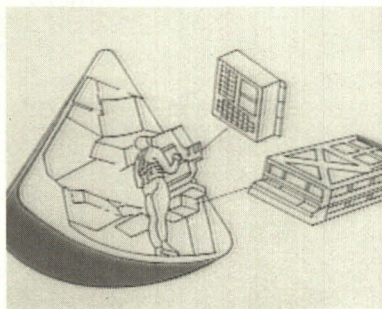
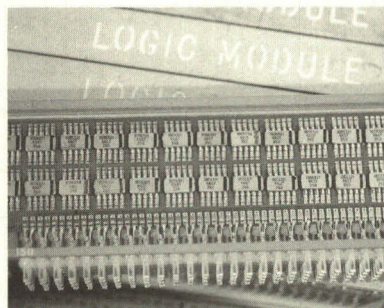
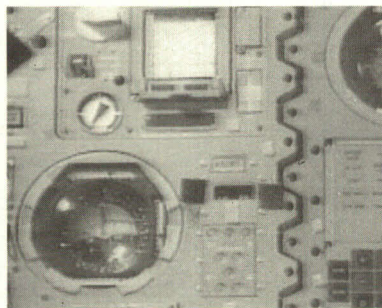
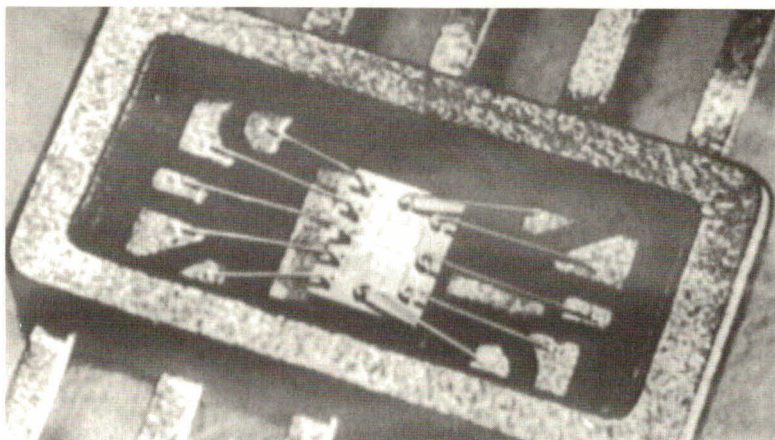
一九六二年はＩＣの大量生産が始まった年である。その年に製造されたＩＣはわずか数千個にすぎなかったが、空軍はＴＩにミニットマン・ミサイルに使う二二種類のＩＣを発注。同じ年、米航空宇宙局と民間のコンピューターメーカーは、フェアチャイルド社に膨大な量のＩＣを発注した。こうしてＩＣ大量生産時代の幕が切って落とされた。

このすう勢に一段と拍車をかけたのが、米ソの宇宙開発競争であった。宇宙競争でソ連に遅れをとったアメリカは、ケネディが大統領に就任するやアポロ計画を発表し、アメリカ人の手でアメリカ人を月に着陸させると世界に宣言した。「われわれは月へ行くべきだと信ずる……この国は全力を傾注して、一〇年以内に一人の人間を月に着陸させ、安全に地球に戻すという目標を達成すべきだと信ずる」と。以後一一年にわたって継続されるアポロ計画には、総計二三五億ドルという莫大な費用が投じられたのである。

一九六三年末に打ち上げられたＮＡＳＡの惑星間探査衛星は、ＩＣを使った最初の宇宙飛行体であり、それ以後ＩＣは、衛星その他宇宙計画には欠かせぬ素子となった。一九六三年には約五〇万個のＩＣが使われ、それが翌年には四倍に、その次の年にはその四倍、次の年はその四倍といった急カーブでＩＣの使用量が激増していった。

月旅行計画の中で最も困難な事柄の一つが、誘導（Ｇ・ガイダンス）と航行（Ｎ・ナビゲーション）の技術、つまり「Ｇ＆Ｎ」の問題であった。これを解決する唯一の手段が、宇宙船に搭載するための専用コンピューターの開発であった。それは超小型、超高信頼性、超省電力、超高速コンピューターである必要があった。当然のことながら、一チップＩＣを多用する以外に道はなかった。ディジタル回路をシリコンチップに集積したものをマイクロ・ロジック素子と呼んだが、これを大量に使わなけれ

D　誘導コンピューター（実物）

A　アポロ11号の宇宙船

E　機能別になっているＩＣモジュール

B　宇宙船内の誘導コンピューター

F　ＩＣモジュールの裏側

C　キーボードとディスプレー

宇宙船のＩＣモジュールの１個のＩＣの金属容器の中に装着されているシリコンチップ
（日経Ｂ・Ｐ社『エレクトロニクス50年と21世紀への展望』より）

ば、宇宙船に載せる誘導コンピューターは実現不可能であろうと思われた。かくて膨大な数のＩＣ、マイクロ・ロジック素子が半導体メーカーに発注された。アポロ計画は予定より半年も早く実現した。一九六七年七月二〇日にイーグル号が月探検を終えて帰還するまでに、「アポロ計画」によって購入されたＩＣチップは、一〇〇万個を超えていた。

人類初の月面着陸を果たして地球に帰還したアポロ一一号。その往復を可能にした宇宙船の超小型コンピューターが、ボストンのコンピューター博物館に展示されていた。写真Ａはアポロ一一号の宇宙船。図解Ｂが宇宙船の中の誘導コンピューター、操縦席の足元にコンピューター本体があり、顔の位置にキーボードとディスプレーがある。写真Ｃがキーボードとディスプレー。操縦士は右下のキーボードの数字を叩くことで、コンピューターと対話した。写真Ｄが誘導コンピューターの実物である。装置は二個の金属ラックからできており、各収納ラックには一四段のＩＣモジュールが差し込まれている。各モジ

ユールは、写真Eのように演算用とかエンジン点火用とかロープ操作用などと機能別につくられている。その一個を抜いて、裏面を見たのが写真F。片側五本ずつの脚を上下につけた四角い金属が、一個のICである。

その金属容器の中をのぞくと、写真右のようにシリコンチップが装着されている。そしてシリコンの中には、プレーナトランジスタと抵抗で組まれたRTL回路が集積されている。一個のモジュールに装置されているICが、三〇個ずつ二段で六〇個。

装置全体に使われているICが二八二六個。トランジスタ五五〇個。重量が七ポンド、消費電力五五ワット、価格三五万ドル。これがアポロ計画全体で、四五基製造された。

表示パネルには「アポロ計画は、アメリカの国際的威信を賭けた宇宙開発競争の目玉でした」という書き出しに始まり、次のようなことが記載されていた。

☆アポロ誘導コンピューターは、すべての飛行で司令船と月面着陸船に各一台ずつ装着されていました。パイロットの指示で、司令船と月面着陸船の誘導・航行・制御を完璧に行うのが目的でした。最も挑戦的試みは、月面着陸船の自動操縦に使ったことでした。司令船のパイロットが操縦席から指令を発し、月面着陸船を自動的に制御したのです。この誘導コンピューターは、実際の飛行のほかに地上でテストや訓練にも使用されました。

☆設計は一九六一年にMITの機器操作研究所（現チャールズ・スターク・ドレーパー研究所）に発注されました。設計条件は超高信頼、超省電力で容積が一立法フィートを超えないことでした。それは、新たに開発された集積回路によって初めて可能になったことですが、ICの使用は最初から予定されていたわけではありません。まず、一九六二年にICを使ったプロトタイプを試作し、その使用

実験を重ねたうえで、最終的にＩＣの使用を決定しました。それは品質管理の新しい手法が開発されて、目標の耐久時間五万時間が達成されたことが大きな要因となりました。

☆宇宙でアポロ誘導コンピューターが果たした役割は、宇宙飛行士が要求する誘導・航行の計算式を解き、センサーがとらえた情報でエンジンなどさまざまな機器を自動的に制御することでした。宇宙飛行士たちは、キーボードの数字を叩くことでコンピューターと対話しました。たとえば宇宙飛行士がキーボードの９９を叩くだけで、あとはコンピューターが点火に必要な処理をしたうえで、ロケットエンジンを自動的に始動してくれました。

☆最初、飛行士たちは宇宙船の制御をディジタルコンピューターに任せることに大変懐疑的でしたが、後にデイヴ・スコット飛行士が次のように証言しています。「私がアポロ計画に参加していた一〇年間で、深刻なコンピューターの故障は一つもありませんでした。コンピューターは考えられるかぎり信頼できるように設計されており、宇宙飛行士たちの厚い信頼を得ていました。」

☆こうしてアポロ計画は、誘導コンピューターの開発によって成功したのですが、この計画がＩＣの発達に果たした功績は実に偉大なものでした。一九六〇年、アポロ計画の初期に使われたＩＣは一個一〇〇〇ドルでしたが、四年後の一九六四年にはわずか二五ドルに下がり、一九七二年のアポロ一七号では平均一ドルになっていたのです。

アポロ計画の「Ｇ＆Ｎ」で次第に威力を発揮し始めた「論理回路を集積したＩＣ」は、やがて次々と核ミサイルの誘導コンピューターに大量使用されるようになる。一九六三年に登場する第二世代のミニットマンII型は、その誘導コンピューターをＩＣでつくることが決定された。ＴＩ社は三年間で二四〇〇万ドルの受注契約をとり、月間四〇〇〇個の割合でチップを供給し続けた。やがてフェアチ

ャイルド社も、ミニットマン計画に参入して大量のチップを生産するようになったのである。間もなく海軍も、潜水艦発射ミサイル・ポラリス用に大量のICチップを発注。六〇年代後半までには、三軍を通じて軍事用エレクトロニクス機器のすべてがICチップ化されるに至った。

航空宇宙局と国防総省こそ、ICの育ての親であった。民間の分野ではチップが真空管に比べてあまりにも高価すぎた時代、巨大な需要を提供し、そのコストを劇的に下げていったのは政府機関の国防総省と航空宇宙局であった。一九五八年にTI社でキルビーがICを発明してから一九六四年に至るまで、TI社及びフェアチャイルド社などが製造したICの買い手はすべて政府機関であり、その後も数年間は、政府が依然として最大の買い手であった。しかも、ICチップ誕生後の一六年間について見ると、アメリカの半導体産業が研究開発に投じた費用の約半分は、政府機関の資金援助に支えられていた。

技術公開に押し寄せる日本人

国家的支援を受けて発達したシリコン技術と集積回路技術は、当然のことながら重大な企業機密であり、軍事機密であった。しかし、それらの技術の概要が公開される場があった。アメリカで開催された幾つかの学会である。

アメリカにはエレクトロニクスに関する学会が二つあった。一つが七九年の伝統を誇る、米国電気技術者協会（AIEE：the American Institute of Electrical Engineers）。もう一つが五一年の伝統を誇る、米国無線技術者協会（IRE：the Insutitute of Radio Engineers）。前者の会員数がおよそ五万人で、後者

が一〇万人。これらが一九六三年に合併して、電気電子技術者協会（IEEE：the Insutitute of Electrical and Electronics Engineers）になった。会員数が一五万四五〇〇人。世界で最も大きく、権威のある学会であった。

半導体に関する会議では、ここが主催する国際固体回路会議（ISSCC：International Solid State Circuits Conference）と国際電子デバイス会議（IEDCM：International Electric Device Conference Meeting）は、年間五〇近くも開催されるさまざまな会議のなかでも特に権威のある学会となっている。つい最近、参加者がカメラで会議を撮影することと、マスコミが会議風景を撮影することが禁止された。

ゲルマニウムからシリコンへの転換に出遅れた日本の技術者たちは、この学会を利用して技術情報の収集に励んだ。その時代、学会にやってきた日本人技術者の行動をつぶさに目撃し、その実態を本に書いた人がいる。現在はシリコンバレーに住む、ジェームス・カニンガムさんである。

一九六一年テキサス大学で化学と物理の博士号を取得後、TI社に入社し、一一年間在職。入社当初はゲルマニウムトランジスタを手がけ、退社前後にはMOS・ICの製造に従事した。一九七一年に退社独立してカリフォルニアでアルテックス社を設立し、MOS・ICを製造し、二年間で六〇〇万ドルの売上を達成した。その後一九七三年にはAMS（アドバンスド・メモリー・システムズ）社からディジタル製品担当の上級副社長として迎えられ、続いて一九七八年にはナショナル・セミコンダクタ社に転じて、バブルメモリーの開発を指揮。そこも三年前に退社して、現在は半導体全般にわたるコンサルタント業を営んでいる。

カニンガム　一九六〇年代の初頭のIC産業は、一〇社とか一五社ほどのアメリカ企業が独占していました。アメリカが世界で一番進んでいたからです。そうした企業の研究者にとって

最も名誉なことの一つが、自分がやった研究成果を学会で発表することでした。これは、おそらく大学の風習から来たことだと思うんです。教授たちが学生に研究の成果を発表することは、非常に価値のある立派な行為だと奨励してきましたから。ですから、ＴＩやベル研やＩＢＭやフェアチャイルドなどの研究者は、自分の研究成果を公にするのは非常に名誉なことであり、しかも、それは一種の社会的責任だとさえ考えていました。大学時代からそのように教育されていたわけですから。

カニンガム氏

——論文発表は名誉であり、義務だと。

カニンガム　そのうえ論文になれば、業績が同僚のみならず多くの人たちに知れわたり、公式に認知され歴史に残ることになる。ですからあの当時、六〇年代のことですが、アメリカには幾つか専門学会ができていました。電気化学学会やアメリカ電気電子通信学会などには、学会が幾つかの分科会から構成されていて、研究者たちは自分の研究内容に即していろいろな学会に論文を提出し、参加し、研究を発表できたのです。

——なるほど。

カニンガム　しかし、すべての産業がこうであるとは限りません。薬品業界はエレクトロニクス業界のようには、必ずしも開放的ではありません。

——ああ、そうなんですか。

カニンガム　そうです。電気産業界は非常に開放的だったのです。

――なるほど。

カニンガム　そうした会議は、サンフランシスコ市街にあるセント・フランシスのような超一流の高級ホテルで開催されました。出席者が五〇〇人から一〇〇〇人も集まるといった大会議で、そこには全米からほとんどの関係者が集まってきたのです。

――日本人は？

カニンガム　六〇年代後半になると、急に日本人の出席者が大変多くなってきていることに気づきました。たとえばＩＥＤＣＭ（国際電子デバイス会議）のような会議では、五〇〇人の出席者のうち一〇〇人は日本人で占められていました。ほとんど例外なく背広をきちんと着込み、ネクタイを締め、眼鏡をかけ、カメラを持っていました。

――なるほど、日本人のパターンですね。

カニンガム　それにいつもグループで行動し、私たち個人主義のアメリカ人の目には異様に映りました。というより、率直に言って滑稽に映りました。大変礼儀正しく、一見無害で内気に見えました。彼らの内面に粘り強さと賢明さが隠されていようとは、まったく気がつかなかったのです。日本人がどんなに一生懸命働き、どんなにエレクトロニクス産業を国家的目標として狙いを定めて、多額の資金を注ぎ込もうとしているのかなど、私たちには想像もできませんでした。

――日本人の論文発表はいかがでしたか。

カニンガム　学会といいますのは、通常は何百という論文が発表されます。日本のエレクトロニ

クス会社も一つか二つくらいは寄稿していたかもしれません。だとしても、ほとんど意味のない論文ばかりでした。それより閉口したのは、発表する人の英語が下手すぎて、何を言っているのか理解できないことでした。

——内容がなくて英語が下手で。

カニンガム　ええ。でも彼らにはそんなこと一つも問題でなかったのです。といいますのも、彼らは論文を発表しに来たのではなくて、人の論文を聞きに来たのですから。自分の発表内容が無意味だろうと、英語が下手だろうとまったく問題ではなかったのです。聞きに来るというより、写真を撮りに来るといったほうが正確かもしれません。

——何を撮影するんですか?

カニンガム　英語が下手というのは、しゃべるのが下手で、聞くのも下手なわけですから、何でも写真に撮って帰って、あとで読むんでしょうね。発表者がスライドをチェンジするたびに、カメラのシャッターを押したのです。最初はその行動の意味を理解できなかったので、不思議に思ったものです。

——なあるほど。

カニンガム　やがて、日本人は発表するために来ていたのではなく、聞き、かつ写真を撮るためにだけにやって来ているのだと気がついて、りつ然としました。スライドが変わるたびに、会場にいる日本人という日本人がシャッターを押す。すると、会場全体にカシャ、カシャ、カシャとシャッター音がわき起こるんです。私たちアメリカ人はあっけにとられ、「おい、あれは何だ、スライドが変わるたびに日本のカメラがけいれんしているぜ」と冗談をとば

したものです。

――なるほど。

カニンガム　おそらく、彼らにとって自分が出す論文なんてアメリカ行きのチケットのようなものだったんでしょう。アメリカの学会で発表すると言えば、上司も出張を許してくれたのだと思います。あきれたことには一つの論文に何人もの名前が列記してあり、その全員がやって来たことです。

――あははは。

カニンガム　最初は、私たちは笑っていました。無意味な研究に何人もの名が連なっているわけですからね。バカにしていたんですが、やがてその重大な意味に気がついて、ゾッとしたのです。彼らは大勢でやって来て、会場では手分けして写真を撮っているに違いない。いや、そのためにこそ大勢でやって来たのだと。

――なかなか手厳しいですね。

カニンガム　私の記憶では、ある論文なんか一五名の名前が連記してありました。多分一五人全員が学会に出て来たんでしょうね。そのうち一人は講演したんでしょうが、その内容たるや陳腐きわまりない発表で、おそらくだれも聞いた人はいなかったでしょう。しかし、彼らは発表するのが目的じゃない。ほかの一四人が会場を手分けして、細大漏らさず記録するのが目的ですから。かくて彼らの作戦は大成功、というわけです。

――なかなか鋭い推理ですね。

カニンガム　あのときは、日本人がこんなに力をつけるとは思ってもみませんでした。また日本

が、これほどエレクトロニクスの分野に進出する意図があるとは思ってもみなかったのです。エレクトロニクスは、私たちが圧倒的に優位を保ちたいと願っている産業でした。それなのに、うかつにも私たちは日本人たちの企みに気がつかなかったのです

■「アメリカはライバルに手を貸した」

カニンガムさんは半導体技術のコンサルタントをしながら、いくつかの著作をものした作家でもある。鋭い観察力は作家独特の眼力に違いない。痛烈な表現力も普通の技術者のそれではない。もの静かなしゃべり方のなかにも、しばしば口の端をゆがめては皮肉そうに笑う。目の前で聞いていたときよりも、活字に直してみると痛烈さがいっそう際立っている。

——学会の役割をどうお考えですか。

カニンガム　研究の公表は、産業全体にとって発展の原動力となりますから、よいことだとは思うんですが、問題も多いと思います。

——どんな?

カニンガム　私たちは学会という機関を通して、貴重なテクノロジーをあまりにも安く売り渡してしまったのかもしれません。私は今、そう考えています。国内的な問題に限って言えば、学会は確かにテクノロジーの普及には偉大な役目を果たしました。あらゆる技術的な問題を公開の場で話し合うことで、ＩＢＭがＡＴ&Ｔに情報を与え、ＡＴ&Ｔがフェアチャイルドに情報を与えるというように、技術情報の交流が産業の成長を助けたわけですから。それは、アメリカの技術者にとっては、非常に

のです。

年間はもっぱらアメリカで創造され、開発されてきたものでした。それをタダで分け与えてしまったことは、おそらく間違いだったと思います。実際エレクトロニクス産業は、少なくとも最初の二〇年間はもっぱらアメリカで創造され、開発されてきたものでした。それをタダで分け与えてしまった

健全な環境でした。しかし外国との技術競争という側面から言えば、学会に外国の技術者を参加させたことは、おそらく間違いだったと思います。実際エレクトロニクス産業は、少なくとも最初の二〇

――戦略的には間違っていた?

カニンガム　特に合衆国対日本の関係に限って言えば、何一つよいことはなかったと思います。なぜなら、私たちはわざわざ恐るべき競争相手をつくり上げることに手を貸してしまったのですから。

――現在でも同じ状況が続いているのですか。

カニンガム　基本的には、今日でも同様の事態は続いています。産業は今でもオープンで、非常に多くの発明が会議で発表されていますからね。

――日本人の行動も同じですか。

カニンガム　今日では、日本の論文は非常に質が高くなりました。最近では非常に重要な発明も日本から提案され、産業界に大きな貢献をするようになりました。しかし、つい最近まで、日本は半導体技術の発達に何一つ貢献しなかったと言っても過言ではありません。

すでに見てきたように、アメリカにおけるシリコン革命と、それに続く集積回路の発達は、軍事的要請と宇宙開発上の必要からもたらされた。軍需産業と宇宙開発が開発初期の莫大なコストを吸収し、莫大な需要を保証してくれた。性能と信頼性さえ確かならば、それがいかに高価格であっても買ってくれたのである。シリコンのメサトランジスタからプレーナトランジスタを経て集積回路へと、一九

五〇年代後半から六〇年代前半にかけて、わずか五年ほどの間に新しい技術が次々と登場してきた背景には、上記のような事情が存在した。その結果、集積回路の性能は飛躍し、信頼性が向上し、価格が激落した。これを民生品に使って莫大な需要をつくりだし、それをてこにアメリカの半導体産業を急追撃するのが、一九七〇年代の日本である。

ゲルマニウムトランジスタの生産に安住していた日本の半導体産業は、シリコンへの転換に遅れをとった。やがて圧倒的に優れたプレーナトランジスタや、続く集積回路が日本に入ってくる。日本の半導体産業にとって、それは現代の黒船襲来であった。ある会社はその独占使用権を買い、ある会社は独自に国産技術の開発に挑戦し、何度も苦境に立たされる。

停滞していた日本の集積回路技術が遅れを取り戻せたのは、一九七〇年代に繰り広げられた熾烈な電卓作戦のおかげであった。大衆商品になった電卓が貪欲に新しい技術を要求し、膨大な需要を提供したのである。

六〇年代にアメリカの軍事・宇宙開発が推進力だったとすれば、七〇年代の推進者は日本の電卓メーカーであった。その流れのなかでマイクロプロセッサが開発されていく。次巻では、プレーナトランジスタの日本上陸から書き始めることにする。

電子立国　日本の自叙伝　上巻・目次

本書、取材協力及び証言者（敬称略）

◆取材協力

財団法人・半導体振興会半導体研究所
株式会社チッソ
日本シリコン株式会社
AT&Tベル研究所
ボストン・コンピューター博物館
スミソニアン博物館
ナショナル・セミコンダクタ
スタンフォード大学

◆参考文献

『トランジスタ25年』（毎日新聞の昭和48年連載記事）
『日本の半導体開発』（中川靖造著）
『エレクトロニクス50年と21世紀への展望』（日経マグロウヒル社発行）
『ベル研AT&Tの頭脳集団』（J・バーンスタイン著）
『チップに組み込め』（T・R・リード著）
『ビッグ・スコア』（マケル・S・マローン著）
『PORTRATES OF SUCCESS』（Carolin Caddes著）
『日本半導体年鑑1989〜1991年度版』（プレスジャーナル社）
『エレクトロニクスを中心とした　科学技術史第3版』（城阪俊吉著）

◆証言者（証言内容当時の肩書と取材時点での肩書）

西島輝行（当時東芝課長心得、東芝副社長を経て引退）
佐藤興吾（当時日立製作所武蔵工場長、アキタ電子社長）
長船廣衛（当時日本電気研究員、アメリカNEC社長を経て大阪チタニウム製造顧問）
アンディ・アンダーソン（当時ウエスタン・エレクトリック社技師長、引退）
ビル・バーンホーン（当時ウエスタン・エレクトリック社技師、引退）
ジェームス・アーリー（当時ベル研究所、フェアチャイルド・セミコンダクタ社研究員、引退）
忍足博（当時三菱電機研究員、マスターエンジニアリング技師）
アディソン・ホワイト（当時ベル研究所研究員、引退）

リンカーン・デリック（当時ベル研究所研究員、引退）
カルビン・フラー（当時ベル研究所研究員、引退）
大野稔（当時日立製作所中央研究所研究員、日立超ＬＳＩエンジニアリング代表取締役）
岩瀬新午（当時電電公社武蔵野通信研究所員、三洋電機顧問）
前田一博（当時新日本窒素肥料部長、日本シリコン顧問）
和田昌三（当時チッソ電子技術者、フジミ電子工業専務取締役）
西澤潤一（当時東北大学工学部通信研究所助教授、東北大学学長）
ゴードン・ティール（当時テキサス・インスツルメンツ社研究所長、引退）
ウィリス・アドコック（当時テキサス・インスツルメンツ社研究員、テキサス大学工学部教授）
ジャック・キルビー（当時テキサス・インスツルメンツ社研究員、コンサルタント）
レスター・ホーガン（当時ハーバード大学教授、引退）
ゴードン・ムーア（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、インテル社会長）
ユージン・クライナー（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、ベンチャー資本家）
ビクター・グリニッチ（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、エレクトロ・メモリー・システム社社長）
ジーン・ハーニー（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、現在新会社設立中）
マレー・シーゲル（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、サーラス・ロジック社国際販売部長）
エミリー・ショックレー（ウィリアム・ショックレー夫人）
ロバート・ノイス（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社総支配人、セマテック会長）
菊池誠（当時通産省工業技術院電気試験所研究員、ソニー技術顧問）
トム・ベイ（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社、引退）
マーシャル・コックス（当時フェアチャイルド・セミコンダクタ社員、ウエスタン・マイクロ・テクノロジー社会長）
ジェームス・カニンガム（元テキサス・インスツルメンツ社技師、コンサルタント）

■NHKスペシャル「電子立国　日本の自叙伝」スタッフ

制作協力　NHKエンタープライズ
語り　三宅民夫
取材　行成卓巳
　伊藤　真
　古賀龍威智郎
撮影　澤中　淳
照明　坂本光正
音声　富永光幸
技術　太田　司
音響効果　斎藤　実
海外リサーチ　野口修司
アート・コーディネイト　藤田惣一郎
CG製作　岩田智佐子
科学実験　鷲塚淑子
模型製作　田中義彦
デスク　宮崎経生
制作　大井徳三
企画・構成・演出　相田　洋

編集協力　パロル社
　高木　信
　加藤デザインシステムズ
　山本嘉昭
　渡辺靖子
　広地ひろ子
　町山悦子
写真撮影・提供　日本テキサス・インスツルメンツ
　「電子立国　日本の自叙伝」プロジェクト
図版制作　加藤デザインシステムズ
　嶌田昭成

相田 洋（あいだ　ゆたか）
1936年生まれ。60年早稲田大学法学部卒業。同年ＮＨＫ入局。ディレクターとして、「ある人生」「乗船名簿ＡＲ—29」「石油・知られざる技術帝国」「核戦争後の地球」「自動車」「電子立国・日本の自叙伝」など多くのドキュメンタリー番組を制作。イタリア賞グランプリ、テレビ大賞、芸術祭大賞など数多くの賞を受賞している。

NHK
電子立国 日本の自叙伝［中］

■発行日　1991年12月20日第１刷発行

■著者　相田　洋

■発行　日本放送出版協会
東京都渋谷区宇田川町41—１
郵便番号：150
電話番号：03-3464-7311
振替：東京１—49701

■印刷・製本　凸版印刷株式会社

■装幀　竹内宏一

ISBN4-14-008792-7 C1055

ISBN4-14-008792-7 C1055 P1500E ■定価1,500円（本体1,456円）

はじめての国語じてん

新学習指導要領準拠

監修=林　四郎（筑波大学名誉教授）　●定価1,500円

お子さんがはじめて出会う読む、見る「にほんご」のじてんです。

たくさんの例文と楽しいイラストが入っており、豊かなことばが自然に身につくように編集。

ビジュアルでわかりやすいKING OF ZIPANG

NHK大河ドラマ・ストーリー 信長

NHK大河ドラマの公式ガイドブック。

田向正健（オリジナル脚本）
NHKエンタープライズ21協力

NHK大河ドラマで、織田信長が主役となるのは今回が初めて。配役の紹介、あらすじ、舞台地の案内、歴史的背景などを収載。定価900円

1月5日より放送 毎週日曜夜8時

織田信長〜戦国革命児の実像

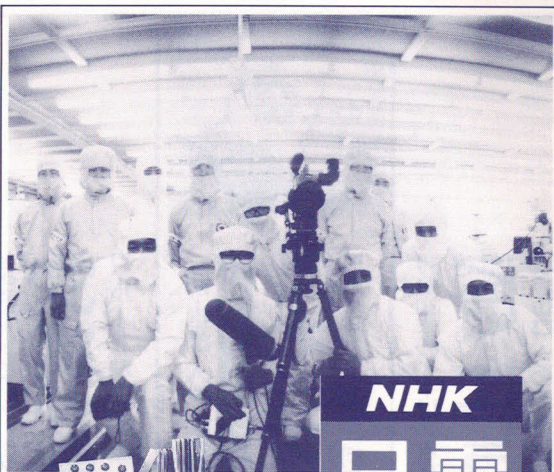
堺屋太一編

“近代”を先取りした信長とその時代を、世界史的な視野から新しくとらえ直す。●定価1,100円

日本放送出版協会
〒150 東京都渋谷区宇田川町41-1 振替東京1-49701

NHK

電子立国 日本の自叙伝 中

〈全3巻〉

相田　洋（NHKディレクター）

●定価各1,500円

ゲルマニウムの性能劣化の解決策として生まれたシリコン・トランジスタ。その技術はすぐに集積回路へと発展した。石になった電気回路をめぐる日米の技術者の苦闘を描く。

1991・12

出版案内

日本放送出版協会

ヒロシマの「生命の木」

"世界はヒロシマを覚えているか"と世界に向けて問い直す。

大江健三郎（作家）

対話と思索の旅を通じて、広島の医師たち、被爆者たちが重ねてきた営為を米ソに訪ね、核時代のヒロシマの意味を改めて問い直す。●定価1,400円

生活者革命―国家主義の終焉

今こそ、ゼロクリア・ボタンを押せ!!

大前研一（マッキンゼー・ジャパン会長）

国家主義から地域国家への流れは止めようもない。日本という国家の枠組みはもはや必要なく、いま本当に求められているのは国民=生活者のための政治だ。●定価1,000円